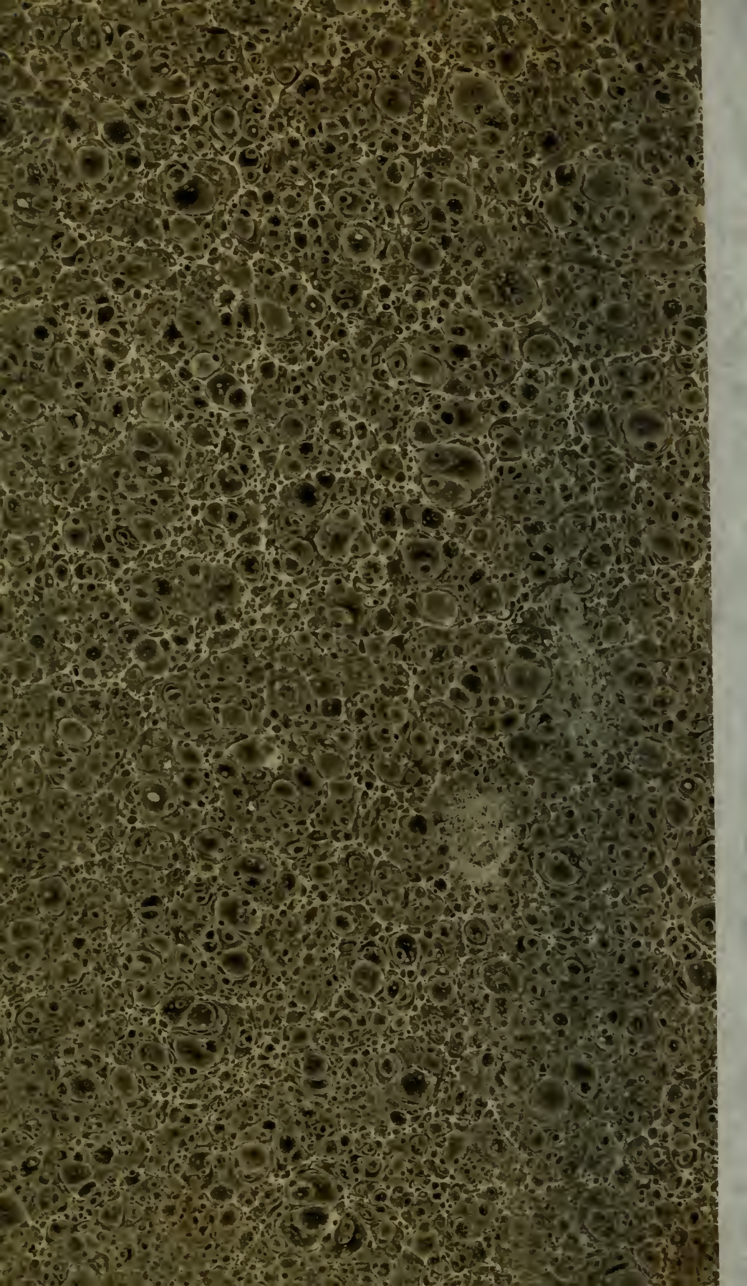
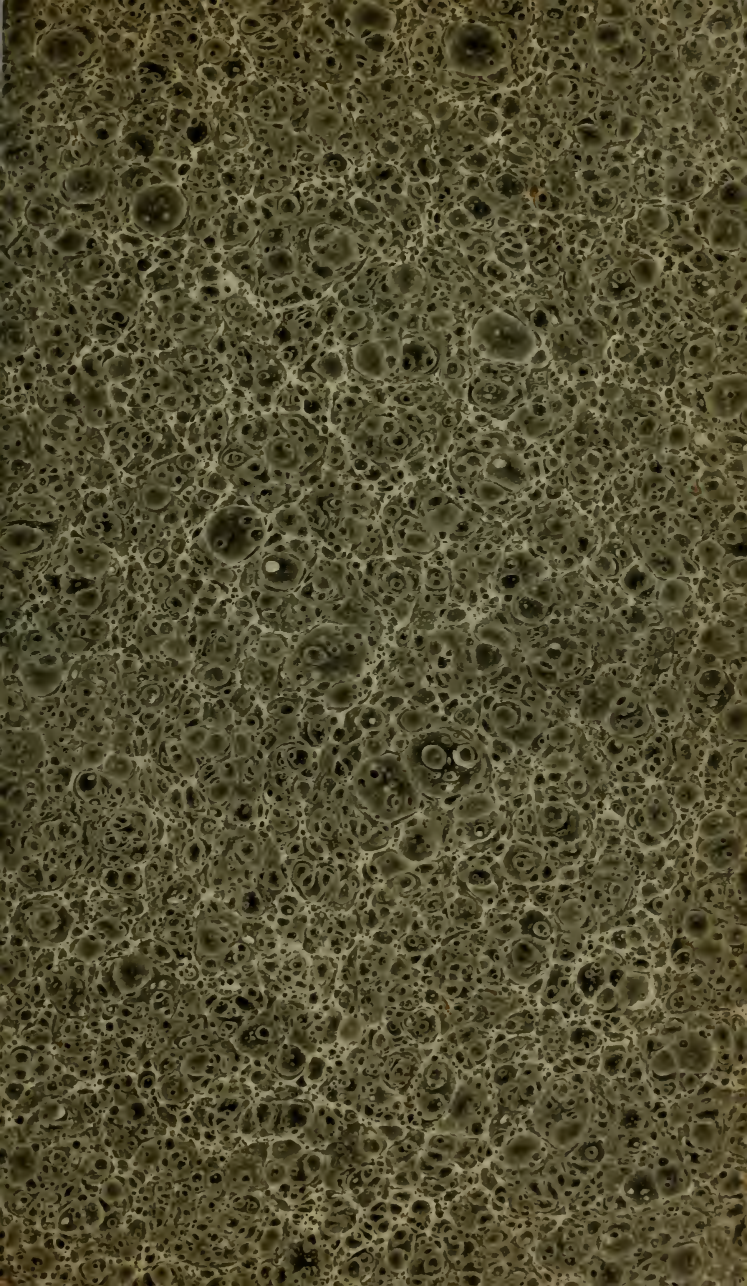

U d'/of OTTAWA
39003004417365





LETTRES
SUR LA CHIMIE

IMPRIMERIE DE H. FOURNIER ET Ce,
RUE SAINT-BENOÎT, 7.

LETTRES

SUR

LA CHIMIE

CONSIDÉRÉE DANS SES RAPPORTS

AVEC L'INDUSTRIE, L'AGRICULTURE ET LA PHYSIOLOGIE

PAR

JUSTUS LIEBIG

PROFESSEUR DE CHIMIE A L'UNIVERSITÉ DE GIESSEN
MEMBRE CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE
DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DE LONDRES
DES ACADÉMIES DE BERLIN, DE SAINT-PÉTERSBOURG, ETC., ETC.

TRADUITES DE L'ALLEMAND

Sur la deuxième Édition

PAR

F. BERTET-DUPINEY ET E. DUBREUIL-HÉLION

Docteurs en Médecine de la Faculté de Paris

PARIS

PAUL MASGANA, LIBRAIRE

GALERIE DE L'ODÉON, 12

J.-B. BAILLÈRE, LIBRAIRE

RUE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE, 17

1845

PRÉFACE.

L'observateur, même le plus attentif, s'il ne connaît pas les fils cachés auxquels se rattachent les acquisitions de l'esprit humain, ne peut arriver à l'intelligence du présent, soit dans sa forme matérielle, soit dans sa forme intellectuelle. Cette connaissance est un besoin pour l'homme éclairé, en ce sens qu'elle renferme en elle la première et la plus importante condition du développement et du perfectionnement de sa vie intellectuelle. Combien n'est-il pas avantageux, en effet, de se faire une idée des causes et des forces qui déterminent des phénomènes si nombreux et si variés, puisque c'est l'étude du passé qui nous aide à comprendre le présent et qui nous permet de pénétrer dans l'avenir. L'homme qui a cette connaissance prend part au mouvement de son époque ; il voit s'évanouir de soi-même tout ce que les résultats acquis semblent avoir de fortuit et d'énigmatique ; dans les tendances nouvelles et plus élevées des esprits de notre temps il aperçoit un enchaîne-

ment naturel et nécessaire. En se tenant au courant des progrès des sciences, il acquiert le privilége de les utiliser à son gré, de les appliquer à la satisfaction de ses propres besoins, de contribuer à l'accroissement de la richesse scientifique et de multiplier ses bienfaits en la rendant féconde pour d'autres.

C'est de ce point de vue que j'ai composé ces lettres ; elles ont pour but d'appeler l'attention des gens éclairés sur l'état de la chimie, de les pénétrer de son importance, de leur faire connaître les problèmes dont elle s'occupe, et la part qui revient à cette science dans les progrès accomplis par l'industrie, la mécanique, la physique, l'agriculture et la physiologie.

A proprement parler, ces lettres sont écrites pour les gens du monde que n'effraie pas l'examen des questions les plus importantes et les plus difficiles de la science, lorsqu'elles sont fécondes en résultats pratiques, pour cette classe de lecteurs qui ne saurait trouver aucun charme à la forme appelée populaire, expression sous laquelle on a l'habitude de désigner l'exposition triviale de la science descendue de ses hauteurs afin de s'adapter aux intelligences vulgaires. L'étude de la nature a cela de propre que tous ses résultats sont aussi évidents, aussi faciles à comprendre pour un esprit bien fait, étranger à la science, que pour le savant lui-même. Le seul avantage que ce dernier ait sur l'autre, c'est de connaître les moyens par lesquels leur acquisition s'est faite ; mais en revanche le savant a en général une profonde indifférence pour les applications utiles de la science.

La forme d'exposition que j'ai choisie n'a pas besoin, je crois, de justification; en l'adoptant, j'ai pensé que c'était celle qui convenait le mieux et à moi-même et au journal dans lequel ces lettres ont paru pour la première fois.

Quiconque est un peu au courant du mouvement intellectuel en Allemagne, reconnaîtra que, par le nombre de ses lecteurs, par l'étendue de son cadre et la multiplicité des matières qu'elle embrasse, par la profondeur et la supériorité avec lesquelles toutes les branches des connaissances humaines y sont traitées, enfin par le goût sévère et le tact exquis des hommes auxquels sa direction est confiée, la *Gazette générale d'Augsbourg* répond aux besoins de l'époque et se rend le digne organe de la civilisation sous le rapport politique, social et scientifique. On s'expliquera aisément par-là pourquoi je me suis empressé de répondre à l'invitation des propriétaires de ce journal, et pourquoi j'ai entrepris d'ouvrir à la chimie un accès dans un monde nouveau pour elle. Les *Lettres sur la chimie* (les douze premières) ont eu deux éditions en anglais (*Familiar Letters on Chemistry*, 2d edition; London, Taylor and Walton, 1844). Cette même traduction anglaise, reproduite sous forme de journal en Amérique et vendue au prix d'environ 20 centimes la feuille, s'est débitée à plus de 60,000 exemplaires; enfin une excellente traduction des vingt et une premières lettres (*Lettere chimiche* di Giusto Liebig, *trad.* del Dr. G.-D. Bruni; Torino, Stamperia Reale, 1844) a paru en Italie, pays qui, à l'exception de la littérature française, s'occupe si peu des littératures étrangères. Toutes ces considérations me donnent l'espoir que mon pays, dont le témoignage

m'est incomparablement plus flatteur, ne méconnaîtra point le but dans lequel ces lettres ont été écrites, et qu'il m'approuvera d'en donner aujourd'hui une édition complète.

Giessen, juillet 1844.

JUSTUS LIEBIG.



LETTRES
SUR LA CHIMIE

LETTRE PREMIÈRE.

Objet de cette lettre. — Influence des sciences naturelles sur le commerce et l'industrie. — Conséquences de la découverte de l'oxygène. — Méthode d'investigation des astronomes et des physiciens. — Méthode d'investigation des chimistes. — Analyse chimique. — Chimie appliquée. — Influence de la chimie sur l'étude des phénomènes de la vie.

Dans les ouvrages modernes il est si souvent question de chimie qu'on me saura peut-être quelque gré de donner une idée un peu précise de son influence sur les arts et l'industrie, et des liens qui la rattachent à l'agriculture, à la physiologie et à la médecine.

Puissé-je, dans cette première lettre, réussir à convaincre mes lecteurs que la chimie, envisagée comme science indépendante, offre un des moyens les plus puissants d'élever les esprits, et que son étude est utile non-seulement en ce qu'elle sert les intérêts matériels de l'humanité, mais encore

en ce qu'elle aide notre intelligence à pénétrer dans les merveilles de la création qui nous entourent, et auxquelles se lient de la manière la plus intime notre existence, notre conservation et notre développement.

L'esprit humain est si naturellement porté à aller à la recherche des causes des phénomènes de la nature, et des changements dont nous sommes chaque jour témoins, que celles d'entre les sciences qui satisfont le mieux à ce désir sont en même temps celles qui exercent le plus d'influence sur les progrès de l'intelligence.

Considérée comme branche de la science générale qui a pour but l'étude de la nature, la chimie est étroitement liée à la physique, et celle-ci à son tour a des connexions intimes avec l'astronomie et les mathématiques. L'observation de la nature est la base unique sur laquelle reposent toutes les branches des sciences naturelles, mais ce n'est que par une coordination successive des observations que la science s'est constituée.

Les rapports de la lumière avec notre globe, les révolutions des astres, l'alternance du jour et de la nuit, les saisons, la différence des températures dans les diverses zones ont conduit à l'astronomie.

A mesure que l'horizon de l'esprit humain s'étend, de quelque côté que la lumière lui arrive, ses facultés de tout genre se perfectionnent et reçoivent un surcroît d'énergie ; la connaissance exacte d'une série de phénomènes qui s'enchaînent, l'acquisition d'une vérité nouvelle constituent, pour ainsi dire, un nouveau sens ajouté à ceux que l'homme possède déjà. Par-là il devient capable de découvrir et de

comprendre une foule de phénomènes qui, auparavant, avaient échappé à ses recherches.

Avec l'astronomie naquit la physique, qui, parvenue à un certain degré de développement, a donné naissance à la chimie scientifique; la chimie organique amènera la découverte des lois de la vie, et alors la physiologie positive pourra se constituer.

Toutefois, ne l'oublions pas, avant de connaître les lois de la pesanteur, on déterminait déjà la durée de l'année, on expliquait la succession des saisons, on calculait les éclipses de lune ; l'on a construit des moulins et des pompes avant de connaître le fait de la pression de l'air ; l'on a fait du verre et de la porcelaine, fabriqué des couleurs et réduit les métaux, tout cela par des procédés seulement empiriques et en l'absence de tout principe scientifique rigoureux. Ainsi, à son point de départ, la géométrie est une science expérimentale dont la plupart des propositions ont été le fruit de l'empirisme avant que leur vérité fût démontrée par une induction rationnelle. Bien que nous devions à l'empirisme de savoir que le carré de l'hypoténuse est égal au carré des deux autres côtés, ce n'en fut pas moins une découverte : autrement son auteur eût-il immolé une hécatombe lorsqu'il eut trouvé la démonstration de ce théorème?

Mais combien les découvertes du savant de nos jours s'offrent sous un aspect différent, depuis qu'inspiré par le souffle d'une vraie philosophie, de quelque nom qu'on la nomme, physique, chimie ou mathématiques, il a été conduit à étudier les phénomènes dans le but d'en déterminer les causes et les lois !

Un génie sublime, Newton, a répandu à lui seul plus de lumière que dix siècles entiers avant lui n'avaient pu en produire. La notion exacte du mouvement des globes célestes et de la chute des côrps a été le point de départ d'autres découvertes sans nombre ; la navigation, le commerce, l'industrie, tant qu'il existera des hommes, auront à remercier Newton des avantages matériels et intellectuels que ses découvertes leur ont procurés.

Si l'on n'a pas étudié l'histoire de la physique, il est impossible de se faire une idée de l'influence que l'étude de la nature a exercée sur la culture de l'esprit. Dans les écoles, nos enfants s'imprègnent de vérités dont la conquête a coûté d'immenses travaux, d'indicibles efforts. Ils sourient, quand ils nous entendent raconter qu'un naturaliste italien a écrit un long traité sur l'identité de la neige de l'Etna et de la neige des Alpes helvétiques, quand nous leur disons qu'il en a recueilli un échantillon pour prouver que ces deux substances en fondant se réduisent en eau dont les propriétés et la nature sont les mêmes ; la démonstration n'était pas tellement palpable, qu'on ne pût lui objecter l'énorme différence de température qui existe entre la Sicile et la Suisse. Il n'y avait pas à cette époque un seul homme qui se fît une idée de la propagation de la chaleur à la surface de la terre. Lorsqu'un enfant bouche avec un morceau de papier un verre plein d'eau et le renverse sans qu'une goutte s'en échappe, il n'étonne plus que l'enfant qui le regarde ; et c'est là cependant l'expérience qui a rendu immortel le nom de Torricelli ; c'est une variante de l'expérience avec laquelle le bourgmestre de Magdebourg jeta, à Regensbourg, l'empe-

reur et sa cour dans une muette admiration. Nos enfants ont, sur la nature et les phénomènes physiques, des idées plus justes que Platon : ils riraient des erreurs que Pline a commises.

L'histoire, la philosophie et les études classiques nous initient à la connaissance du monde intellectuel, des lois de la logique et de la pensée, de la nature spirituelle de l'homme. En lisant la vie des grands hommes et des hommes vertueux de tous les temps, nous apprenons par l'exemple des siècles passés à tempérer et à gouverner nos passions, à maîtriser les mouvements de notre cœur. Ces leçons du passé nous donnent l'intelligence de notre époque, car la nature morale de l'homme demeure éternellement la même; elles nous apprennent à revêtir de la forme la plus belle les maximes de la religion, de la vérité, du droit, et à les graver d'autant plus profondément dans les cœurs. Mais l'histoire et la philosophie n'ont pu empêcher qu'on brûlât des hommes comme sorciers, et tout ce que put faire le grand Keppler, lorsqu'il se rendit à Tubingue pour sauver sa mère du supplice, ce fut de prouver qu'elle manquait des véritables conditions qui font une sorcière.

Comme la graine se détache du fruit mûr, il y a soixante ans la chimie se sépara de la physique, pour former une science indépendante ; avec Cavendish et Priestley, elle commença une ère nouvelle. La médecine, la pharmacie, la technologie avaient préparé le sol sur lequel la semence devait se développer et mûrir.

Le point de départ fut, comme on sait, une théorie en apparence fort simple de la combustion. Nous savons main-

tenant par les résultats qu'elle a produits, quels services, quels bienfaits cette théorie a rendus à l'humanité. Depuis la découverte de l'oxygène, le monde civilisé a éprouvé une révolution dans ses mœurs et dans ses habitudes. A cette découverte se rattache la connaissance de la composition de l'atmosphère, de l'écorce solide de notre planète, de l'eau et de leur influence sur la vie des plantes et des animaux; l'exploitation avantageuse d'industries et de fabriques sans nombre, l'extraction des métaux s'y lient de la manière la plus étroite. On peut dire que le bien-être matériel des nations lui doit les progrès immenses qu'il a faits depuis lors, et que la puissance de l'homme en a été augmentée.

Chacune des découvertes ultérieures de la chimie a eu pour résultat des effets analogues : chaque application nouvelle de ses lois, de quelque nature qu'elle soit, apporte un bienfait aux peuples, accroît la somme de leur force et de leur prospérité.

La chimie a plusieurs points de ressemblance avec les mathématiques ; comme elles, elle nous apprend à mesurer les champs, à bâtir les maisons, à soulever les fardeaux; comme l'arithmétique, elle est un instrument qui, manié par une main habile, procure des résultats dont l'utilité frappe tous les yeux. D'un autre côté, les mathématiques rendent l'esprit humain capable de raisonner d'une façon rigoureuse en se conformant à des règles précises; elles lui enseignent une langue particulière, qui permet d'exprimer une série de conséquences au moyen de lignes et de signes d'une extrême simplicité, et intelligibles pour tous ceux qui connais-

sent ce langage; elles lui apprennent à découvrir de nouvelles vérités en exécutant certaines opérations à l'aide de ces lignes et de ces signes; elles lui permettent de saisir nettement certains rapports auparavant obscurs et inconnus.

Le mécanicien, le physicien, l'astronome, se servent des mathématiques comme d'un instrument d'une absolue nécessité pour atteindre certains buts. L'usage de cet instrument doit leur être assez familier pour n'exiger de leur part qu'un simple travail mécanique où la mémoire seule soit en jeu; mais ce n'est pas l'instrument qui accomplit l'œuvre, c'est l'esprit humain. En effet, il est évident qu'un homme dénué de jugement, de sagacité et d'esprit d'observation, ne saura tirer parti de toute sa science mathématique.

Représentez-vous un homme favorisé d'une grande mémoire, familiarisé aussi complétement que possible avec les principes des mathématiques, consommé dans l'art de manier cet instrument, mais incapable de se poser à lui-même une question. Si vous lui soumettez un problème, si vous lui fournissez les conditions nécessaires pour le résoudre, il réussira, au moyen d'opérations qui lui sont familières, à donner une réponse formulée par des signes dont le sens sera pour lui lettre close, par la raison qu'il ne possède les facultés nécessaires pour juger de la vérité des formules même qu'il emploie. Voilà le portrait d'un calculateur. Mais, du moment que cet homme sera capable de se poser une question et de vérifier la vérité de son calcul, il méritera le titre d'investigateur de la nature, car tous les problèmes que nous pouvons nous poser se rapportent à la nature ou à la vie.

On lui donne le nom de mécanicien, d'astronome, ou de physicien-mathématicien, lorsque, partant de l'observation pour trouver l'enchaînement de certains phénomènes, il sait découvrir les causes qui les produisent, lorsqu'il peut exprimer les résultats de ses recherches, non-seulement dans une formule, c'est-à-dire dans la langue des mathématiques, mais encore lorsque indépendamment de cela il possède la faculté de faire l'application de sa formule, lorsqu'il est capable de la traduire en phénomène et de contrôler par là sa vérité.

Ainsi l'astronome, le physicien, le mécanicien doivent aux mathématiques, qu'ils emploient comme instrument, l'art de faire des observations et d'interpréter les phénomènes; ils leur sont redevables de pouvoir donner à leurs conclusions abstraites une forme phénoménale, de pouvoir réaliser leurs théories par la construction d'une machine, d'un appareil; enfin, de pouvoir vérifier expérimentalement une série entière de propositions scientifiques.

Le physicien choisit une question à résoudre: il se propose d'étudier les conditions d'un phénomène, les causes de ses variations; et lorsque la question est bien posée, lorsqu'il a fait entrer en ligne de compte tous les facteurs, il arrive, par le secours de formules mathématiques, à une expression simple de la quantité inconnue ou du rapport cherché. Traduite en langue vulgaire, cette expression explique l'enchaînement des phénomèmes qu'il a observés, des expériences qu'il a exécutées; elle est *vraie,* quand elle lui permet de provoquer une série déterminée d'autres phénomènes, qui sont la conséquence de cette expression.

Il est aisé d'apercevoir le lien qui unit la science des mathématiques à l'étude de la nature. On conçoit le degré de puissance qu'elles ajoutent à l'esprit d'observation et d'invention, combien elles facilitent les découvertes utiles en physique, en astronomie et en mécanique. C'est une erreur partagée d'ailleurs par beaucoup de personnes, que d'attribuer aux mathématiques toutes les découvertes nouvelles. Il en est ici comme dans mille autres cas, où l'effet est pris pour la cause. Ainsi, l'on attribue aux machines à vapeur ce qui appartient au feu, à la houille et à l'esprit humain. Les découvertes faites dans le domaine des mathématiques pures exigent la même intelligence, la même pénétration, la même force de pensée, que la solution d'autres problèmes difficiles. Au point de vue de leurs applications, ces découvertes sont un perfectionnement apporté à un instrument susceptible de servir à une infinité d'usages utiles ; mais, par elles-mêmes et réduites à leurs seules ressources, les mathématiques ne font aucune découverte dans la science de la nature, car elles n'opèrent jamais que sur les résultats fournis, soit par l'observation directe, soit par le travail intellectuel.

En regard de la physique mathématique, nous trouvons la physique expérimentale : celle-ci découvre les faits, exécute les recherches, et prépare les matériaux sur lesquels devra opérer la première. La tâche de la physique expérimentale est de revêtir les lois et les vérités découvertes d'une forme phénoménale, d'éclaircir par des expériences les formules mathématiques et de les rendre accessibles aux sens.

Dans les réponses qu'elle fait aux questions qui lui sont adressées, la chimie se comporte comme la physique. Elle nous enseigne les moyens de connaître les innombrables corps qui nous entourent ; elle nous apprend la composition de l'écorce solide du globe que nous habitons, et les éléments dont se composent les organismes animaux et végétaux.

Le chimiste étudie les propriétés des corps, les changements que leur fait éprouver le contact d'autres corps ; l'ensemble de toutes ces observations constitue une langue dont chaque mot représente une propriété, une modification observées dans les corps.

Comparés entre eux, les corps nous présentent des analogies ou des différences sous le rapport de la forme ainsi que sous celui des propriétés. Ces différences sont aussi nombreuses et aussi variées que les mots de la langue la plus riche.

Les corps diffèrent sous le rapport de la qualité. Ce que que nous appelons leurs propriétés, se modifie suivant le mode d'arrangement de leurs molécules. Comme dans toute autre langue, nous trouvons dans celle que nous parlent les corps, des articles, des cas, toutes les inflexions du substantif et du verbe ; nous avons même une foule de synonymes Suivant la disposition qu'elles affectent, les mêmes quantités d'éléments identiques donneront naissance à un poison, à un remède, à un aliment, à un corps volatil ou à un corps inaltérable à l'action du feu. Nous connaissons la signification de leurs propriétés, c'est-à-dire les mots de la langue que la nature nous parle, et nous nous servons d'un alphabet pour les lire.

Il existe en Savoie une source d'eau minérale qui guérit les scrofules ; si je lui adresse certaines questions et que je groupe toutes les lettres qui composent sa réponse, elle me dit : je contiens de l'iode.

Après avoir fait usage d'un aliment, un homme meurt offrant tous les signes de l'empoisonnement : le langage des phénomènes, familier au chimiste, lui dit que cet homme a succombé à l'action de l'arsenic ou du sublimé corrosif.

Le chimiste interroge un minéral, et le minéral lui répond qu'il contient du soufre, du fer, du chrome, de la silice, de l'alumine disposés d'une certaine manière, ou bien il lui répond par tout autre mot de la langue chimique des phénomènes. *Voilà l'analyse chimique.*

La langue des phénomènes conduit le chimiste à des combinaisons d'où découlent une infinité d'applications utiles. La connaissance de ces combinaisons est une source d'améliorations pour les arts et l'industrie, pour la métallurgie et la préparation des médicaments. Après avoir analysé l'outremer, le chimiste a dû s'occuper de traduire le mot, la formule analytique en phénomène, c'est-à-dire de reproduire artificiellement cette substance avec toutes ses propriétés. Tel est l'objet de *la chimie appliquée.*

Jusqu'à ce jour il n'est guère de questions auxquelles la chimie scientifique n'ait donné une réponse satisfaisante, que la question lui ait été posée par les arts, par l'industrie ou par la physiologie. Toutes les questions posées d'une manière nette et bien déterminée ont été résolues ; elles ne sont restées sans réponse que lorsque celui qui les adressait n'avait pas lui-même une vue nette du problème qu'il s'agissait de

résoudre, et par cela même était incapable d'en poser les termes.

L'objet le plus élevé de la chimie ou son but suprême est la recherche des causes des phénomènes naturels, de leurs variations, ainsi que des éléments qui peuvent être communs à plusieurs phénomènes différents. Le chimiste trouve les lois qui régissent les phénomènes de la nature, et il arrive enfin, en réunissant tous les résultats que l'observation directe a recueillis et vérifiés, à exprimer d'une manière générale ces phénomènes, à formuler, en un mot, une *théorie.*

Mais pour pouvoir lire dans ce livre écrit en caractères inconnus, pour comprendre, pour apercevoir clairement la vérité d'une théorie et les phénomènes sur lesquels elle s'appuie, et pour soumettre à notre volonté les forces qui les engendrent, il faut nécessairement commencer par apprendre l'alphabet de la langue, il faut se familiariser avec l'usage de ces signes et acquérir par un exercice répété l'habitude de les manier; il faut enfin étudier les règles sur lesquelles reposent les combinaisons.

De même que la physique et la mécanique transcendantes supposent une grande habitude de l'analyse mathématique, ainsi le chimiste, en sa qualité d'observateur de la nature, a besoin d'être familiarisé de la manière la plus intime avec l'analyse chimique; car il traduit tous ses raisonnements, tous ses résultats en expériences et en phénomènes.

Chacune des expériences du chimiste est une idée rendue accessible aux sens par une forme objective. Les preuves qu'il invoque à l'appui de ses idées, de ses conclusions, et

même de ses réfutations, sont des expériences, c'est-à-dire des interprétations de phénomènes qu'il produit à volonté.

Il fut un temps où la chimie, à l'exemple de l'astronomie, de la physique et des mathématiques, n'était rien autre chose qu'un art d'expérimenter découvert d'une manière empirique et réduit en règles; mais depuis que l'on connaît les causes et les lois qui servent de fondement à ces règles, l'art de l'expérimentation a perdu de son importance.

L'étude pénible et oiseuse des méthodes et des procédés, des mesures de précautions à employer dans les arts chimiques, dans l'industrie, dans la pharmacie, les bizarres attributs du chimiste d'autrefois, ses fourneaux, ses alambics, tout cela est devenu un pur objet de curiosité, tout cela ne s'apprend plus, mais se comprend de soi-même, parce que l'on connaît les causes qui ont rendu nécessaire cette complication d'appareils. Le succès d'une expérience, d'une opération, dépend beaucoup moins de l'habileté mécanique que des connaissances de l'expérimentateur; l'insuccès tient à une science imparfaite. La sagacité a remplacé la dextérité; c'est l'organe intellectuel qui aujourd'hui préside à toutes les découvertes chimiques.

Dans les cours, le professeur nous enseigne l'alphabet : l'usage des signes s'apprend dans le laboratoire où l'élève se familiarise avec eux en lisant la langue des phénomènes. C'est là qu'il apprend les règles qui président aux combinaisons et s'habitue à les exécuter.

Dès que ces caractères et ces signes se sont formulés en langage intellectuel, leur signification demeure gravée dans

l'esprit en traits ineffaçables. Une fois qu'il est armé de cette connaissance préliminaire, le jeune chimiste peut explorer les régions inconnues, s'instruire et faire des découvertes partout où ces signes ont cours; il a en elle un moyen de comprendre les mœurs, les usages, les besoins qui règnent dans ces contrées. Sans elle il peut, il est vrai, franchir les limites de ces régions, mais il s'expose à une foule de méprises et d'erreurs : il demande du pain, et on lui donne une pierre.

La médecine, la physiologie, la géologie, la physique expérimentale, sont ces régions encore inconnues dont il aspire à découvrir les lois, les institutions et les formes de gouvernement. S'il ignore la langue des phénomènes et l'art de les interpréter, il lui sera impossible de faire la moindre découverte : il pourra seulement reconnaître les formes et les qualités extérieures.

Qui ne voit à cette heure par où pèche la physiologie? La conviction intime de tous nos grands physiologistes ne se trahit-elle pas à chaque parole qu'ils prononcent, à chaque expérience qu'ils exécutent? La science des formes extérieures ne les satisfait plus; ils sont convaincus de l'importance et de la nécessité de pénétrer plus profondément, plus intimement dans la nature de l'organisme, enfin de l'étudier chimiquement. Mais comment pourront-ils arriver à ce but s'ils ignorent notre langue?

D'autres physiologistes moins avancés objectent à la chimie que tous ses résultats leur sont inutiles et ne sauraient recevoir une application avantageuse à l'objet de leurs études; mais c'est une ridicule injustice de leur part, et ils prouvent

par là qu'ils ne comprennent ni le sens ni la portée de la chimie. Ils ressemblent à des individus qui voudraient lire un livre français imprimé en caractères hébraïques, et qui ne voudraient pas se donner la peine d'apprendre la valeur de ces caractères.

Ces physiologistes ne devraient-ils pas remarquer qu'un grand nombre de médecins traitent la physiologie avec autant de dédain qu'eux-mêmes traitent la chimie, que ces médecins font à la physiologie les mêmes reproches, et des reproches tout aussi peu fondés?

L'homme qui a étudié la médecine, non comme science, mais seulement comme art empirique, n'accepte pour règles que les résultats de l'empirisme; il s'occupe seulement de savoir ce qui a réussi ou échoué dans tel ou tel cas particulier. L'art empirique ne s'inquiète pas du pourquoi, c'est-à-dire des causes des phénomènes. Et cependant je le demande, de quel point de vue jugerions-nous les états anomaux et morbides de l'organisme humain, si nous avions une notion suffisamment exacte de ses états normaux, si nous nous faisions une idée parfaitement nette des phénomènes de la digestion, de l'assimilation et de la sécrétion? Quelles modifications profondes n'en recevrait pas le traitement des maladies? En l'absence de toute idée exacte de force, de cause et d'effet, en l'absence de toute vue pratique sur la nature des phénomènes, en l'absence de toute notion solide en physiologie ou en chimie, doit-on s'étonner de voir des hommes, d'ailleurs intelligents, défendre les opinions les plus contradictoires, de voir la doctrine d'Hahnemann naître en Allemagne et se créer des disciples dans

tous les pays? La raison seule ne suffit pas pour protéger les nations contre la superstition. L'enfant ne cesse de craindre les fantômes que lorsque son intelligence s'est développée et qu'il a acquis des connaissances positives.

Peut-on attendre de tels hommes qu'ils tirent même le plus léger profit des découvertes de la chimie et de la physiologie? peut-on les croire capables d'en faire même l'application la plus insignifiante, eux qui n'ont jamais abordé l'étude de la nature avec un esprit philosophique, qui n'ont jamais appris à interpréter la langue des phénomènes?

Ils s'affligent, eux et leurs pareils, que la vérité soit si simple, quoique, en dépit de tous leurs efforts, ils ne puissent réussir à en tirer parti; aussi les opinions les plus radicalement impossibles, ne leur coûtent-elles rien à émettre, et dans le mot de *force vitale* voient-ils quelque chose de merveilleux qui leur sert à expliquer tous les phénomènes qu'ils ne comprennent pas. A l'aide d'un mot sans valeur déterminée et absolument *incompréhensible*, ils prétendent expliquer ce qui dépasse leur intelligence!

Pour pénétrer le mystère de la force vitale et en comprendre les effets, les médecins doivent suivre scrupuleusement la route qui a conduit la physique et la chimie à de si grands résultats.

De tous les états de la matière, aucun assurément n'était moins accessible aux yeux du corps et de l'esprit que celui que nous désignons par le mot d'*électricité*.

Depuis la naissance de la physique, des milliers d'années se sont écoulées avant que l'esprit humain se fût seulement douté de la force immense, gigantesque, qui concourt à tous

les changements dont la nature inorganique est le théâtre et à tous les phénomènes que présente la vie des végétaux et des animaux.

A la suite d'infatigables recherches et grâce à un courage que n'ont pu rebuter des difficultés sans nombre, le physicien a fini par se familiariser avec la force dont nous parlons et par en faire sa servante. Il sait aujourd'hui que l'électricité, le calorique, la lumière et le magnétisme sont pouri ainsi dire les filles d'une même mère ; c'est l'électricité qu l'a aidé à soumettre et à maîtriser ses sœurs. Par son secours, il trace à la foudre le chemin qu'elle doit parcourir, il arrache les métaux précieux de leurs mines les plus pauvres; c'est à elle qu'il doit d'avoir pu pénétrer la véritable nature des éléments qui composent notre globe; enfin avec son aide il fait marcher les navires et multiplie les objets d'arts.

Une force ne tombe ni sous le sens de la vue ni sous celui du toucher. Pour la connaître dans son essence et dans ses propriétés caractéristiques, nous devons étudier ses manifestations et ses effets. Mais la simple observation ne saurait suffire, car l'erreur est toujours à la surface, et il faut fouiller plus profondément pour découvrir la vérité. Quand nous envisageons un phénomène sous un faux point de vue, quand nous le classons et l'interprétons mal, nous appelons cela commettre une erreur; mais il est un moyen de se mettre à l'abri de l'erreur : il consiste à vérifier expérimentalement nos conceptions, nos interprétations du phénomène observé. Il faut, afin de démontrer leur exac titude, reconnaître d'abord les conditions au milieu desquelles se produit le phénomène; puis, ces condition

une fois reconnues, il faut les changer; enfin l'influence de ce changement doit faire l'objet de nouvelles observations. Par ce moyen, la première observation, si elle est exacte, se trouve confirmée et acquiert une évidence complète. Rien ne doit être abandonné à l'imagination, à l'arbitraire. C'est par les faits, par les phénomènes à l'étude et à la recherche desquels il s'est voué, que le véritable investigateur explique ses idées; il laisse les faits parler pour lui. Il n'est pas de phénomène, qui, pris isolément, s'explique de lui-même; on ne le connaît et on ne le comprend bien que lorsqu'il se trouve rattaché et coordonné à d'autres faits bien observés. N'oublions jamais que tout phénomème a sa raison, que tout effet a sa cause.

L'hypothèse suivant laquelle la force créatrice de la nature serait capable de produire sans semences toutes les espèces de végétaux et même certains animaux, c'est-à-dire de les faire naître de terres décomposées et de matières végétales en putréfaction, l'horreur du vide, l'esprit recteur, la supposition singulière que l'organisme animal vivant possède la faculté de fabriquer du fer et du phosphore, toutes ces rêveries sont les résultats naturels de recherches incomplètes; ce sont des filles de l'ignorance ou de la paresse incapable de remonter à l'origine et aux causes des phénomènes. Des milliers d'observations qui ne sont pas liées et coordonnées entre elles n'ont pas plus de valeur qu'une observation unique et isolée; elles ne prouvent rien. Nous n'avons aucun droit de faire intervenir notre imagination et d'inventer des causes hypothétiques, lorsque nous échouons dans la recherche des causes réelles et venons nous briser contre les

écueils de la route. Ainsi, quand nous voyons les infusoires naître d'œufs, il ne nous reste plus qu'à rechercher de quelle manière ces œufs se disséminent partout.

Du moment où nous abandonnons les rênes à notre imagination et lui reconnaissons le droit de résoudre les questions demeurées sans réponse, il n'y a plus d'investigation scientifique ; nous n'avons plus aucun moyen de découvrir la vérité. Cependant ce ne serait là que le moindre mal : le pire de tout, c'est qu'en général l'imagination met à la place de la vérité un monstre entêté, méchant et jaloux, je veux dire l'erreur qui se place au-devant d'elle, cherche à lui barrer le chemin, lutte avec acharnement contre elle et s'efforce de l'anéantir. Voilà ce qui s'est vu au temps de Galilée, et ce que nous voyons encore de nos jours dans toutes les sciences où on laisse les opinions se substituer aux preuves et prendre l'autorité de démonstrations positives. Lorsque, reconnaissant notre impuissance, nous confessons que nos moyens actuels sont insuffisants pour résoudre une question et ne peuvent expliquer un phénomène ; eh bien ! c'est un problème que nous léguons à nos successeurs : des milliers d'hommes peut-être y useront leurs forces, mais tôt ou tard le problème sera résolu.

Les explications satisfont l'esprit, et l'erreur tenue pour vraie procure le repos à son activité, tout aussi bien que le ferait la vérité elle-même.

Qu'il se présente des millions de cas, l'imagination créera des millions d'erreurs : or, rien n'est plus nuisible au progrès des sciences, rien ne s'oppose davantage à la lumière qu'une vieille erreur; car il est infiniment difficile de réfuter

une doctrine fausse par la raison précisément qu'elle s'appuie sur la conviction que le faux est la vérité.

Assurément les physiologistes ne procédaient pas d'une manière rationnelle, lorsqu'ils s'efforçaient d'expliquer les phénomènes de la formation des tissus, de la nutrition et de la sécrétion dans l'organisme, avant de connaître l'aliment et les sources d'où il provient, avant d'avoir soumis l'albumine, le caséum, le sang, la bile, la substance cérébrale, etc., à des expériences rigoureuses. Ce ne sont encore là que des noms que l'on commence tout au plus à épeler. Avant de connaître les propriétés de ces substances et leur manière de se comporter, avant de connaître les métamorphoses qu'elles éprouvent quand on les met en contact avec d'autres corps, en un mot, avant de les avoir interrogées, pouvions-nous espérer qu'elles nous diraient quelque chose ?

La cause des phénomènes vitaux est une force qui n'agit pas à une distance qu'on puisse mesurer, et dont l'activité ne se manifeste qu'au moment où la nourriture et le sang entrent en contact immédiat avec les organes destinés à les recevoir ou à les transformer. Il en est absolument de même de la force chimique : il n'existe pas dans la nature de causes génératrices de mouvement ou de changement, il n'y a pas de forces plus voisines entre elles que la force chimique et la force vitale. Nous savons qu'il se produit des réactions chimiques toutes les fois que des corps, en général, de nature différente se touchent : or, ce serait aller contre toutes les règles de la méthode admise dans les sciences naturelles, que de supposer qu'une des forces les plus puissantes de la nature ne prend aucune part aux actes de l'organisme

vivant, quoique toutes les conditions, sous l'influences desquelles son action se manifeste, s'y trouvent précisément réunies. Bien loin que nous ayons des motifs d'admettre que la force chimique se subordonne à la force vitale à mesure que ses effets échappent davantage à notre observation, nous voyons, au contraire, la force chimique de l'oxygène, par exemple, en pleine activité à tous les instants. Ainsi, l'urée, l'allantoïne, l'acide des fourmis et des coléoptères aquatiques, l'acide oxalique, l'huile volatile de la racine de valériane, l'huile de la fleur du *spirea ulmaria*, l'huile volatile du *gaulteria procumbens,* sont bien des produits qui se forment pendant la vie; mais, pour cela, sommes-nous en droit de dire que ce sont des produits de la force vitale?

Nous pouvons, au moyen de la force chimique, créer toutes ces combinaisons. Avec les excréments des serpents et des oiseaux, la chimie produit la substance cristalline que renferme le liquide allantoïque de la vache; avec du sang carbonisé, nous faisons de l'urée; avec de la sciure de bois, nous faisons du sucre, de l'acide formique, de l'acide oxalique; avec de l'écorce de saule, nous fabriquons de l'huile volatile de *spirea ulmaria* et de l'huile de *gaulteria;* enfin, de la pomme de terre nous pouvons retirer de l'huile de racine de valériane.

Ce sont là des faits qui suffisent pour nous donner l'espoir qu'un jour nous réussirons à produire la quinine et la morphine, ainsi que les combinaisons qui constituent l'albumine et la fibre musculaire.

Distinguons les effets de la force chimique de ceux qui appartiennent à la force vitale, et alors nous nous trouverons sur la voie qui peut nous conduire à pénétrer la nature

de celle-ci. Jamais la chimie ne sera en état de faire un œil, un cheveu, une feuille. Nous savons seulement d'une manière certaine, que la production de l'acide prussique et de l'huile d'amandes amères dans les amandes qui ont cette saveur, de l'huile essentielle de moutarde et de la sinapine dans la moutarde, du sucre dans les semences en germination, est un résultat de décomposition chimique; nous voyons qu'avec le secours d'un peu d'acide chlorhydrique un estomac de veau mort agit absolument comme un estomac vivant sur la chair musculaire et sur l'albumine coagulée par la cuisson, qu'il dissout ces deux substances, en un mot, qu'il les digère. Ce sont là autant de faits qui nous autorisent à conclure qu'en suivant la voie de l'observation nous arriverons à nous faire une idée claire des métamorphoses que les aliments subissent au sein de l'organisme ainsi que de l'action des médicaments.

Sans une étude approfondie de la chimie et de la physique, les physiologistes et les médecins chercheront toujours en vain la solution des problèmes les plus importants de leur science; ils seront toujours incapables de découvrir les lois de la vie ainsi que de prévenir et de faire cesser les états anomaux qui affectent l'organisme. Si l'on ne connaît pas les forces chimiques, il est impossible d'approfondir la nature de la force vitale; mais pour que le médecin qui a des prétentions à la science puisse espérer quelque secours de la chimie, il faut qu'il soit en état de lui poser des questions rationnelles.

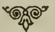
L'industrie a retiré de la connaissance de la chimie des avantages incalculables. La minéralogie est devenue une

science toute nouvelle depuis que les minéralogistes ont eu égard à la composition des minéraux et à la manière dont leurs molécules se comportent entre elles. En revanche, nous ne pouvons espérer de véritables progrès en géologie, aussi longtemps que l'on ne tiendra pas plus compte qu'on ne l'a fait jusqu'ici de l'état chimique et de la composition des diverses espèces de roches. La chimie est la base de l'agriculture : si l'on ne connaît pas les parties constituantes du sol, les éléments qui servent à la nutrition des végétaux, il est impossible de fonder l'agriculture sur des bases scientifiques.

S'il est dépourvu de toutes connaissances chimiques, l'homme d'état reste nécessairement étranger à ce qui constitue la vie propre de son pays, au développement et à l'amélioration de ses produits. Sans elles, son coup d'œil manquera de sûreté ; son esprit ne comprendra pas clairement la valeur des mesures qu'il aura à prendre ; il ne pourra juger sûrement si elles sont avantageuses ou préjudiciables à son propre pays et à l'humanité. Quant aux intérêts matériels les plus élevés et les plus importants, quant au problème de la production la plus abondante et la plus économique possible des substances alimentaires nécessaires à l'homme et aux animaux, quant à la question de l'hygiène publique qui a pour but de conserver et de rétablir la santé des individus, ces intérêts sont intimement liés à l'étude et à la diffusion des sciences naturelles en général, et de la chimie en particulier. Pour l'homme qui ignore les lois et les phénomènes de la nature, il est impossible qu'il réussisse à se faire une idée de la bonté et de la sagesse infinies du

Créateur. En effet, tout ce que l'imagination la plus féconde, tout ce que l'intelligence la plus élevée peuvent concevoir, nous produit l'effet, quand on le compare à la réalité, d'une bulle de savon vide, aux couleurs irisées et chatoyantes.

Le besoin de notre époque s'est déjà manifesté pratiquement par la fondation d'écoles dans lesquelles les sciences naturelles occupent la première place comme objets de l'enseignement. Il sortira de ces nouvelles écoles une génération plus forte, plus sérieuse, plus intelligente, capable, en un mot, de saisir et de comprendre tout ce qui est véritablement grand et utile. Grâce à elles, les ressources du pays iront en croissant; sa force et sa puissance feront de rapides progrès. Enfin, si par suite de ces progrès, il devient plus facile à l'homme d'exister matériellement, s'il cesse d'être vaincu par les fatigues du travail, s'il peut mettre de côté ou supporter plus aisément les soucis des choses terrestres, alors son intelligence épurée et plus brillante pourra s'appliquer à la contemplation des choses supérieures et de l'infini.



LETTRE II.

Fausses opinions des anciens concernant les phénomènes naturels. — Idées exactes de ces phénomènes. — Elles viennent à l'appui des vérités du christianisme. — Considérations sur les merveilles de la nature. — Connaissance de la nature, source de la connaissance de Dieu.

L'histoire de l'homme est le tableau du développement de son esprit. Ses actes nous révèlent ses vices et ses vertus, ses belles qualités et ses imperfections. En étudiant la nature, nous apprenons à connaître la toute-puissance, la perfection et la sagesse infinie de l'Être-Suprême ; nous apprenons à connaître Dieu par ses œuvres et par ses actes. Sans la connaissance de l'histoire des œuvres divines, il est impossible de songer au perfectionnement de l'intelligence humaine; sans elle, l'âme immortelle de l'homme ne peut parvenir à avoir conscience de sa propre dignité et du rang qu'elle occupe dans l'univers.

La religion des Grecs et des Romains, le paganisme était fondé sur une base dépourvue de solidité, c'est-à-dire sur une intuition incomplète et fausse des phénomènes de la nature. L'esprit et les yeux de ces peuples étaient fermés à la connaissance des causes les plus immédiates des phénomènes naturels ; leur culte et leurs prières s'adressaient aux

3.

forces inintelligentes et brutes de la nature. Toute superstition replonge l'homme dans le paganisme.

Ce qui fait la dignité et la prééminence des sciences naturelles, c'est qu'elles viennent à l'appui du vrai christianisme. Au reste, ce qui démontre que l'origine du christianisme est réellement divine, c'est que nous sommes incapables, par la voie humaine des recherches empiriques, de nous élever à la connaissance des vérités qu'il nous enseigne, et à la conception claire d'un être infini supérieur à tous les êtres; nous n'y arrivons que grâce à une illumination d'en haut.

L'espace dans lequel se meut le système du monde est sans limites : qu'y aurait-il extérieurement à cette limite ? Il existe une multitude infinie de mondes ; leur quantité ne saurait s'exprimer par des nombres. Un rayon de lumière parcourt cinquante-sept mille lieues par seconde. Il faut bien des secondes pour faire une année ; cependant il y a des étoiles fixes dont la lumière a mis des milliards d'années pour arriver jusqu'à nous. Nous connaissons des animaux qui sont munis de dents, qui possèdent un appareil digestif, et des organes locomoteurs, et qui cependant ne sont pas visibles à l'œil nu. Il existe d'autres animaux qui sont pourvus d'appareils analogues et qui, mesurés à l'aide d'instruments très-précis, sont plusieurs milliers de fois plus petits. De même que les animaux supérieurs et les plus monstrueux, ces êtres microscopiques se nourrissent, et leur propagation se fait au moyen d'œufs qui doivent nécessairement être encore plusieurs milliers de fois plus petits que l'individu dont ils proviennent. C'est sans doute l'état encore fort imparfait de nos instruments d'optique qui nous empêche

de découvrir des êtres vivants un milliard de fois plus petits.

Quelle multitude de degrés et de différences nous présentent les états et les propriétés des divers éléments qui entrent dans la composition de notre globe terrestre ! Il existe des corps qui sont vingt fois plus pesants qu'un volume égal d'eau ; il en est d'autres, au contraire, qui sont dix mille fois plus légers et dont les plus petites molécules échappent au pouvoir amplifiant des meilleurs microscopes. Enfin dans la lumière, cette merveilleuse messagère qui chaque jour vient nous révéler la permanence d'autres mondes en nombre incalculable, nous avons la manifestation d'une substance extra-terrestre, qui n'est pas soumise aux lois de la pesanteur, et qui pourtant tombe, par des effets innombrables, sous l'appréciation de nos sens : il en est de même de la lumière solaire qui, lorsqu'elle vient frapper la terre, redonne la vie et le mouvement à la nature morte. Cette lumière, nous la séparons en rayons qui, quoique dépourvus de pouvoir éclairant, sont pour la nature organique une des causes les plus fréquentes de modifications et de décompositions. Nous la décomposons en un certain nombre de rayons calorifiques qui présentent entre eux des différences aussi considérables que les couleurs elles-mêmes ; mais nulle part nous n'observons un commencement ou une fin. L'esprit humain, quand il s'applique à la contemplation de la nature, ne découvre de limite ni au dessus ni au-dessous de lui. Dans cette infinité qui, à cause de son incommensurabilité, peut à peine être comprise par l'homme, il ne tombe pas une goutte d'eau sur la terre qu'elle n'y soit forcée, il n'y

a pas un grain de sable qui change de place, sans y être obligé par une force étrangère.

Nulle part, en dehors de lui-même, l'homme n'observe un être doué de volonté et de conscience. Tout ce que nous voyons est étreint par les chaînes indestructibles et immuables des lois éternelles de la nature. C'est seulement en lui-même que l'homme reconnaît l'existence de quelque chose capable de maîtriser tous ces phénomènes, d'une volonté qui n'est soumise à aucune des lois de la nature, d'une intelligence qui dans ses actes est indépendante des forces physiques et qui, à son état de parfait développement, ne reçoit de lois que d'elle-même.

La simple connaissance empirique de la nature nous imprime, avec une puissance irrésistible, la conviction qu'au delà de ce quelque chose il peut exister quelque chose d'analogue et de plus parfait, dont les degrés inférieurs et les plus infimes sont seuls accessibles à notre observation : et, comme toutes les vérités auxquelles nous parvenons par induction dans l'étude de la nature, elle vient confirmer l'idée de l'existence d'un être supérieur, d'un être suprême et infini, à l'intuition et à la connaissance duquel nous serions incapables de nous élever par la voie des sens. Ce n'est que par le perfectionnemant de nos instruments intellectuels que nous parvenons à concevoir sa grandeur et sa sublimité.

La connaissance de la nature est la voie qui nous y conduit : elle nous procure les moyens de perfectionner notre intelligence.

L'histoire de la philosophie nous apprend que les hommes les plus sages, que les plus profonds penseurs de l'antiquité

et de tous les temps ont considéré l'étude approfondie des phénomènes de la nature et la connaissance de ses lois, comme un moyen absolument indispensable pour cultiver l'intelligence de l'homme : la physique faisait alors partie intégrante de la philosophie. Par la science, l'homme arrive à utiliser les forces de la nature ; elles deviennent, pour ainsi dire, ses serviteurs. Dans l'empirisme au contraire, c'est l'homme qui est l'esclave des forces naturelles. L'empirique se rabaissant, comme à son insu, au niveau d'un être inférieur, ne fait tourner qu'une minime partie de sa propre puissance au profit de la société humaine. Les effets dirigent sa volonté, tandis que s'il comprenait bien leur connexion intime, c'est sa volonté qui pourrait maîtriser les effets.

Cette introduction n'est point un hors-d'œuvre. On la trouvera au contraire parfaitement à sa place, quand on aura lu la lettre suivante, où je tâcherai d'expliquer une des lois les plus importantes de la nature, une loi qui sert de base et de fondement à la chimie moderne.

Que l'on présente à un savant versé dans la science de l'anatomie comparée un petit fragment d'os, une dent, ce sera pour lui un livre dans lequel il lira l'histoire d'un animal appartenant à un monde perdu. Il nous décrira la grandeur et la configuration de cet animal ; il nous dira le milieu dans lequel il vivait et respirait ; il nous apprendra si cet être était herbivore ou carnivore ; il nous dira quels étaient ses organes de locomotion, etc. Or, si ce petit morceau d'os ou cette dent était une production accidentelle, si ce fragment devait sa forme et son état à un caprice du hasard, nous pourrions regarder la description de l'anatomiste comme le

jeu d'une imagination féconde abandonnée à son propre essor. Ce miracle est possible à l'anatomiste, parce que la forme de chaque partie d'un organisme est soumise à des lois déterminées, parce que, la forme de la partie une fois connue, l'anatomiste peut, dans sa pensée, reconstruire l'animal tout entier en se conformant à la loi d'harmonie qui a présidé à la formation du tout. Un fait qui ne paraît pas moins merveilleux aux personnes étrangères aux connaissances chimiques, c'est que le chimiste puisse, une fois qu'il connaît le rapport pondéral dans lequel un corps simple se combine avec un deuxième corps simple, déterminer et établir les proportions pondérales dans lesquelles le premier de ces corps se combine avec tous les autres, c'est-à-dire avec une foule innombrable d'autres corps. La découverte de ces lois qui régissent tous les phénomènes chimiques, et auxquelles se subordonnent tous les faits qui, soit dans le monde organique, soit dans le monde inorganique, se rapportent au nombre et à l'étendue, constitue l'acquisition la plus importante et la plus féconde en résultats qu'ait faite le XIXe siècle.

LETTRE III.

Forces chimiques ; affinité. — Combinaisons chimiques. — Classification des corps simples. — Métaux et métalloïdes. — Influence de la chaleur sur les combinaisons chimiques ; elle détruit la cohésion. — Dissolution , le plus puissant moyen d'analyse.

Pour se faire une idée claire de l'ordre admirable et de la régularité qui règnent dans les combinaisons que les corps forment entre eux, il faut avoir présent à l'esprit ce que les chimistes entendent par combinaison et par décomposition. La rouille du fer, le pâlissement des couleurs au contact de l'air, l'extraction des métaux du sein de leur minerai, la fabrication de cette multitude d'objets que créent l'art et l'industrie, la préparation des remèdes; en un mot, toutes les formes ou les phénomènes nouveaux que des corps de nature différente, en s'associant, manifestent à nos sens, reposent, à un très-petit nombre d'exceptions près, sur une combinaison ou sur une décomposition. Les causes prochaines de ces nouvelles formes et de ces nouveaux phénomènes sont les forces chimiques qui se distinguent de toutes les autres forces, en ce que les manifestations par lesquelles elles nous revèlent leur existence n'ont lieu que lorsque deux corps se trouvent en contact immédiat. Dès qu'il existe

une distance appréciable entre eux, elles ne déploient aucune espèce d'action quelle qu'elle soit. C'est à cette classe de phénomènes que se borne le domaine de la chimie. En effet, quoique la pesanteur, la force électrique, la force magnétique et la chaleur influent sur les phénomènes chimiques, comme ces forces agissent à distance et provoquent des mouvements, des déplacements, c'est-à-dire des phénomènes principalement physiques, la recherche de leur nature et de leurs lois appartient plutôt à la physique proprement dite.

Le fer se rouille à l'air, le soufre et le mercure se transforment en cinabre. Or, le changement qui s'opère dans les propriétés de ces corps est dû à l'action chimique qui agit entre les molécules du fer et l'un des éléments constituants de l'air, entre les molécules du soufre et celles du mercure, c'est la force chimique, en un mot, qui détermine la formation d'un corps doué de propriétés nouvelles qui, en d'autres termes, détermine une *combinaison chimique*.

A leur tour, le cinabre chauffé avec le fer, et la rouille chauffée avec le charbon, nous rendent, le premier le mercure, et la seconde le fer à l'état métallique. Nous *décomposons* le cinabre par le fer, la rouille par le charbon. La cause de tous ces phénomènes est la force chimique, et l'effet obtenu repose constamment sur la production d'une combinaison. Le fer, qui a mis le mercure en liberté, se combine avec le soufre, et au lieu de sulfure de mercure que nous avions auparavant, nous obtenons du sulfure de fer; le charbon qui fait repasser à l'état métallique le fer contenu dans la rouille, s'unit à l'élément que le fer, en se rouillant, avait emprunté à l'air. Le nombre infini des décompositions chimiques aux-

quelles donnent lieu les corps composés, le départ de l'un de leurs éléments, résultent toujours de ce qu'un corps nouveau vient s'unir à l'une des parties constituantes du premier pour former avec elle une combinaison. Il est clair, en effet, que si la force que nous appelons chimique n'intervenait pas d'une manière active entre leurs molécules, ces corps, en les supposant placés dans des conditions données, ne pourraient éprouver aucune espèce de modification dans leur état. On a donné à la force chimique le nom d'affinité, mais ce terme est pris ici dans un sens tout à fait différent de son acception vulgaire. On dit en chimie : deux corps ont de l'affinité l'un pour l'autre, lorsque, mis en contact immédiat, ils sont susceptibles de se combiner. Or, cette expression serait complétement fausse, si l'on entendait par-là que ces corps ont entre eux des rapports de parenté.

Si l'on mettait pêle-mêle et en tas les cinquante-six corps simples sur une table, un enfant pourrait, d'après leurs propriétés physiques ou extérieures, les ranger en deux grandes classes : l'une serait composée des corps présentant l'aspect métallique, l'autre comprendrait tous ceux qui ne présentent pas cet aspect. La première classe renferme les *métaux*, et la seconde les *métalloïdes*. Mais ces deux grandes classes peuvent se subdiviser, d'après les analogies que nous remarquons dans les propriétés des corps qui composent chacune d'elles ; on obtient ainsi de petits groupes constitués par les corps qui ont le plus de ressemblance entre eux. Ce que nous venons de dire des corps simples s'applique entièrement aux corps composés : comme les premiers, ils présentent des analogies et des différences sous le rapport de leurs propriétés.

Et, chose remarquable, lorsqu'on les range tous par familles, lorsque l'on réunit par conséquent ceux qui dérivent pour ainsi dire d'un père ou d'une mère commune, on voit les membres de la même famille montrer fort peu de tendance à former des combinaisons nouvelles ; souvent même ils n'en manifestent aucune. Ainsi il y a bien entre ces corps affinité dans le sens vulgaire, c'est-à-dire lien de parenté au point de leurs propriétés, mais il n'y a pas affinité chimique, c'est-à-dire tendance à se combiner les uns avec les autres. Au contraire, on voit les membres de deux familles différentes que leurs propriétés ont fait ranger aux deux extrémités de l'échelle, s'attirer constamment de la manière la plus énergique.

Les combinaisons que forment entre eux deux membres de la même famille, possèdent au même degré, souvent même à un degré plus élevé, les qualités et les défauts de la famille à laquelle ils appartiennent ; mais lorsque deux corps issus de souches tout à fait opposées s'attirent, il résulte toujours de leur union un produit nouveau dans lequel on ne reconnaît plus les corps qui l'ont formé.

Ainsi le fer et le mercure, qui appartiennent tous deux à la famille des métaux, ont entre eux beaucoup plus d'analogie que n'en ont le fer et le soufre ou bien le mercure et le soufre ; car l'un est un métal et l'autre un métalloïde. Une combinaison formée par les deux premiers trahit aussitôt son origine ; mais qui pourrait, dans le cinabre, deviner ce métal liquide dont la blancheur égale celle de l'argent, et le soufre qui est si remarquable par sa couleur jaune et sa combustibilité ? On voit donc qu'il existe dans les corps

composés eux-mêmes des degrés différents de parenté auxquels on peut toujours reconnaître le plus ou moins de tendance qu'ont les éléments de ces corps à s'unir entre eux. C'est sur ces degrés différents d'attraction qu'est fondée toute la théorie des décompositions.

J'ai déjà fait observer que, pour que l'affinité chimique se manifeste, il est absolument nécessaire que les molécules des corps se touchent, ou du moins que leur distance ne soit point appréciable. Tout le monde connaît l'action que la chaleur exerce sur les corps. Un clou en fer solidement enfoncé dans un mur devient peu à peu vacillant et finit par se détacher. Or, ce phénomène tient à ce que le fer, étant plus échauffé dans l'été que dans l'hiver, se dilate dans la première de ces saisons, et presse avec une grande force le bois et la pierre, tandis que durant l'hiver ce métal se contracte beaucoup plus que les deux corps précédents. La dilatation déterminée dans un corps par l'action de la chaleur suppose que les molécules de ce corps s'écartent les unes des autres; la contraction occasionnée par le froid suppose, au contraire, le rapprochement de ces mêmes molécules. Or, comme un certain degré de rapprochement des molécules est une condition indispensable pour que l'affinité chimique se manifeste, on n'a pas de peine à comprendre que la seule influence de la chaleur devra donner lieu à une foule de combinaisons chimiques entre leurs éléments constitutifs, pourvu toutefois que cette même cause ne finisse point par faire sortir les molécules de leur sphère d'attraction chimique. Dans ce dernier cas, il y aura nécessairement séparation; mais si l'intensité de la chaleur diminue, les molécules

se rapprocheront de nouveau, et, arrivées à un certain degré de rapprochement, elles se recombineront.

Rappelons-nous, en effet, que les corps, bien qu'ils aient la plus grande affinité les uns pour les autres, peuvent, quand on les soumet à une température assez élevée pour échapper à nos moyens d'appréciation, occuper le même espace sans se combiner, par cela seul que la chaleur supprime l'affinité en opposant un obstacle à sa manifestation. Aussi, on ne peut se refuser à admettre qu'à l'époque où notre globe possédait une température extraordinairement élevée, les éléments dont il se compose ne fussent distribués dans un ordre tout à fait différent de ce qu'il est aujourd'hui, ordre que nous ne pouvons même pas nous figurer. Ils durent flotter pêle-mêle dans l'espace : l'ordre ne put succéder à ce chaos, les minéraux et les terrains actuels ne purent se grouper que lorsqu'un refroidissement graduel eut abaissé la température. Représentons-nous tous les éléments du globe plongés par l'influence d'une élévation considérable de température dans l'état où se trouvent l'oxygène et l'hydrogène à la température habituelle de l'air, la terre ne sera qu'une boule monstrueuse de gaz qui se mélangeront partout d'une manière uniforme sans se combiner entre eux, absolument comme le gaz oxygène et le gaz hydrogène malgré leur affinité si prononcée. A 350°, le mercure se combine avec l'oxygène de l'air et forme une poudre cristalline rouge : à 400°, cette poudre se décompose en gaz oxygènè et en vapeur mercurielle.

Lorsque dans un creuset nous faisons fondre avec du soufre un mélange de fer et de plomb, le fer se sépare du plomb et s'unit au soufre. Tant qu'il reste un atome de fer dans le

plomb, celui-ci ne reçoit pas une seule molécule de soufre : elles passent toutes du côté du fer ; mais une fois que tout le fer s'est uni au soufre, le soufre dès lors se combine avec le plomb. Comme on le voit, les deux métaux ont de l'affinité pour le soufre, mais l'affinité du fer est beaucoup plus prononcée que celle du plomb. Il suit de là que lorsqu'on fait fondre avec le fer, ainsi que cela se pratique en grand, de la galène, c'est-à-dire du sulfure de plomb natif, le plomb une fois fondu quitte sa combinaison pour passer à l'état métallique, et le fer s'unit au soufre pour lequel il a beaucoup plus d'affinité que n'en a le plomb.

A une température élevée, le fer décompose de même le cinabre et en chasse le mercure en s'unissant lui-même au soufre; mais, dans ce cas, l'affinité du fer pour le soufre n'est point l'unique cause de la décomposition. Il n'a été donné à personne, jusqu'à présent, de voir le mercure à la température rouge, comme nous voyons, par exemple, le fer dans la forge. Car, tandis que le fer, quand on le chauffe, ne se volatilise pas, le mercure, dans les mêmes conditions, se transforme en vapeurs invisibles ; la chaleur fait passer ses molécules à l'état gazeux. Cette propriété d'un corps de passer à l'état de gaz, est fondée sur l'aptitude ou la tendance qu'ont ses molécules à se repousser, à s'éloigner les unes des autres ; et cette tendance, les corps la conservent dans leurs combinaisons chimiques. Déjà même à la température ordinaire, le mercure possède la faculté de se réduire en vapeurs. Une goutte de ce métal exposée à l'air libre se vaporise peu à peu : il lui faut beaucoup plus de temps pour cela qu'à une goutte d'eau; mais à la longue, cependant, elle

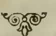
finit par disparaître. La chaleur accélère extraordinairement cette vaporisation. Dans les mêmes circonstances, le cinabre ne se vaporise pas; ce qui tient évidemment à ce qu'un obstacle s'oppose dans ce corps à la tendance qu'a le mercure à prendre la forme aérienne et à se séparer des molécules du soufre. Cet obstacle est l'affinité chimique que le soufre a pour le mercure, obstacle qui ne peut être surmonté à la température ordinaire. Mais si l'on vient à chauffer le cinabre jusqu'au point où le mercure métallique se volatilise, non-seulement l'affinité qui existe entre le soufre et le mercure s'affaiblira, mais encore la tendance du mercure à s'éloigner des molécules du soufre augmentera. Maintenant si une affinité, quelque faible qu'elle soit, comme, par exemple, celle du fer pour le soufre, vient en aide à l'action du calorique, le soufre quittera le mercure, séparation qui n'aurait pas eu lieu si ces différentes causes n'avaient pas réuni leur influence. Ainsi, la tendance d'un corps à prendre la forme gazeuse à certaines températures, joue un rôle important dans tous les phénomènes de décomposition et de combinaison que provoque le chimiste; elle modifie, augmente ou affaiblit l'action de l'affinité.

De même, la propriété que possèdent les molécules d'un corps de conserver leur cohésion en présence de toutes les causes qui tendent à la détruire, joue un rôle important dans les phénomènes produits par l'affinité. Nous pouvons, en faisant fondre à l'aide de la chaleur le sucre et le sel marin, rendre leurs molécules mobiles dans toutes les directions et détruire leur état solide. Nous arrivons au même résultat au moyen de l'eau.

Lorsque l'on fait fondre du sucre ou du sel marin dans l'eau, ce n'est pas la chaleur, mais l'affinité chimique de l'eau pour ces corps qui détruit la tendance qu'ont leurs molécules à rester agrégées ensemble. Un fragment d'os calciné est insoluble dans l'eau et les liquides alcalins, c'est-à-dire que la tendance de ses molécules à garder leur état, ou, comme on le dit alors, à maintenir leur force de cohésion, est plus prononcée que leur affinité pour le liquide Ce même fragment d'os se comportera d'une manière inverse avec une foule de liquides acides, entre autres avec le vinaigre : il s'y dissoudra. En conséquence, il est évident que si nous réunissons ensemble dans un liquide acide les éléments constituants de ce fragment d'os (acide phosphorique et chaux), nous n'apercevrons aucun espèce de changement, par la raison que tous deux, n'importe sous quelle forme, sont solubles dans le liquide acide. Mais, si nous les mettons l'un et l'autre dans l'eau ou dans un liquide alcalin qui n'empêchera aucunement leurs parties constituantes de s'unir en un corps solide, dès lors, nous verrons la substance terreuse de l'os tomber au fond du vase, sous la forme d'une poudre blanche : c'est ce que l'on appelle un *précipité*.

Le chimiste met ainsi à profit l'inégale solubilité des corps dans les différents liquides et leur manière de se comporter à l'égard de la chaleur ; c'est là dessus que sont fondés ses plus puissants moyens d'*analyse*, c'est-à-dire de séparation de substances. Tous les minéraux, sans exception, se laissent dissoudre dans des liquides appropriés ; mais il suffit de changer la nature du liquide, en y ajoutant d'autres substances, pour modifier la solubilité des parties constituantes

du minéral dans ce liquide, et pour arriver, par ce moyen, à les séparer de ce corps les unes après les autres. Voilà déjà un procédé d'analyse par dissolution. L'autre consiste à ajouter successivement à la dissolution d'un composé formé de cinq, six ou d'un plus grand nombre d'éléments, diverses autres substances capables de former une combinaison insoluble avec l'un ou l'autre de ces éléments. Ces opérations doivent se faire dans un ordre déterminé et comme si chacun des éléments du corps soumis à l'analyse occupait un compartiment séparé qui ne s'ouvrirait qu'à l'aide d'une clef particulière.



LETTRE IV.

Volume et poids des éléments qui entrent dans les combinaisons : ils sont un des principaux objets des considérations du chimiste.— Proportions chimiques. — Signes chimiques. — Poids atomiques; équivalents. — Équivalent d'un oxyde métallique. — Équivalent d'un acide. — Formules chimiques.

La première question que le chimiste ait à résoudre, est celle de savoir en quelle proportion un corps doit être employé pour en déplacer un autre ; combien, par exemple, il faut de fer pour chasser le mercure du cinabre et pour le remplacer dans la combinaison qu'il forme avec le soufre.

Toutes ces questions ont été résolues de la manière la plus complète.

Si, dans l'exemple déjà cité, la quantité de fer est trop faible, une portion du cinabre échappera à la décomposition; si, au contraire, on emploie trop de fer, la quantité excédante restera isolée et ne se combinera pas avec le soufre.

Toutes ces décompositions exigent des quantités rigoureusement déterminées et invariables pour chaque cas spécial, d'où il suit évidemment que les corps ne peuvent se combiner que suivant des proportions pondérales constantes; et il ne peut, en effet, en être autrement, puisque toute décomposition est le résullat nécessaire d'une combinaison.

Pour décomposer 117 parties de cinabre j'ai besoin de 27 parties de fer : j'obtiens 101 parties de mercure et 43 parties de sulfate de fer.

Par conséquent :

16 parties de soufre s'unissent à 101 parties de mercure, qui sont chassées et remplacées par 27 parties de fer.

Il est clair, d'après cela, que 27 parties de fer se sont réunies à 16 parties de soufre.

On va voir maintenant que le rapport pondéral suivant lequel le fer et le mercure se remplacent dans la combinaison qu'ils forment avec le soufre, c'est-à-dire suivant lequel ils s'unissent à ce dernier, demeure le même partout et dans tous les cas où l'un de ces corps est remplacé par l'autre. Ainsi, n'importe la combinaison d'où je veuille chasser le mercure pour le remplacer par le fer, que le mercure soit uni à l'oxygène, au chlore, à l'iode, au brôme, etc., je suis toujours et invariablement forcé d'employer 27 parties de fer pour 101 de mercure. Mais ce n'est pas tout ; car l'expérience a encore montré que, lorsque, par exemple, 101 parties de mercure entrent en combinaison avec un corps dont le poids est représenté par a, le poids a de ce même corps se combine également avec 27 parties de fer.

Tout ce que nous avançons là est le résultat d'expériences pures faites par les chimistes la balance à la main. Ces rapports constants ne se montrent pas seulement à l'égard du petit nombre de corps que nous venons de nommer, mais nous les observons partout et dans tous les corps. Ainsi :

16 de soufre se combinent avec 8 d'oxygène et avec 1 d'hydrogène, et, dans toute combinaison où l'hydrogène

est remplacé par l'oxygène, ou bien l'oxygène par de l'hydrogène, on observe qu'il entre dans la combinaison 1 partie en poids d'hydrogène pour 8 parties en poids d'oxygène, et 8 parties en poids d'oxygène pour 1 partie en poids d'hydrogène.

Non-seulement les rapports pondéraux de l'hydrogène et de l'oxygène entre eux demeurent les mêmes dans d'autres combinaisons, mais encore les proportions pondérales du soufre, c'est-à-dire ses rapports pondéraux avec les deux premiers corps, sont d'une constance invariable en ce sens que, dans toute combinaison formée par le soufre, lorsque ce dernier vient à être remplacé par de l'oxygène ou par de l'hydrogène, sa place est prise par une quantité d'oxygène égale à la moitié de son poids ou par une quantité d'hydrogène égale au seizième de ce même poids de soufre.

1 d'hydrogène s'unit avec 16 de soufre, et ces 16 de soufre se remplacent par 8 d'oxygène.

Le résultat de ce remplacement est la combinaison de 8 d'oxygène avec 1 d'hydrogène qui donnent naissance à 9 d'eau; ou bien 8 d'oxygène s'unissent à 16 de soufre, et ces 16 de soufre sont remplacées par 1 d'hydrogène.

Dans ce cas, le résultat est encore une combinaison de 1 d'hydrogène avec 8 d'oxygène.

Il est facile de voir que lorsqu'on connaît la proportion pondérale suivant laquelle un corps se combine avec deux, trois, quatre ou un plus grand nombre d'autres corps (ils s'accouplent toujours deux par deux); il est, disons-nous, facile de voir que ces rapports pondéraux expriment aussi les quantités suivant lesquelles ces différents corps se com-

binent entre eux. 16 de soufre s'unissent à 8 d'oxygène, à 1 d'hydrogène, à 101 de mercure, à 27 de fer; mais 8 d'oxygène s'unissent exactement de même avec 101 de mercure, avec 27 de fer et produisent un oxyde de mercure, de fer, etc. Enfin, quand on connaît dans quelle proportion un corps, peu importe lequel, s'unit à tous les autres, on sait les quantités suivant lesquelles tous les corps s'unissent entre eux, pourvu toutefois qu'ils en possèdent la faculté, c'est-à-dire qu'ils aient de l'affinité les uns pour les autres. Le tableau suivant est si clair qu'il pourrait se passer d'explication.

Oxygène.....	O........	8	Potassium...	K ou Po.	39,2
Hydrogène ..	H........	1	Calcium.....	Ca.......	20,5
Carbone.....	C........	6	Silicium.....	Si.......	14,8
Soufre......	S.........	16	Plomb	Pb.......	103,8
Azote.......	N ou Az..	14	Cuivre	Cu......	31,8
Phosphore ..	P........	31,4	Mercure.....	Hg......	101,4

Ces nombres expriment les quantités pondérales suivant lesquelles certains corps simples connus de tout le monde se combinent entre eux : ou, si l'on veut, ce sont les poids par lesquels ils se remplacent mutuellement dans leurs combinaisons.

Une chose extrêmement remarquable, c'est que ces rapports ne changent pas même lorsqu'un corps forme plus d'une combinaison avec un second, un troisième corps, etc. Ainsi, 14 d'azote unis à 8 d'oxygène forment ce qu'on nomme le *gaz hilariant*; mais ces deux gaz forment un deuxième composé; celui-ci est un gaz incolore qui, à l'air, dégage des vapeurs rouges, et qui, pour 14 d'azote, contient 16 d'oxygène (2 fois 8) : il existe une troisième combinaison

d'azote et d'oxygène qui contient 24 d'oxygène (3 fois 8); une quatrième qui en renferme 32 (4 fois 8); une cinquième, l'acide azotique, qui renferme 40 d'oxygène (5 fois 8), toujours pour 14 d'azote. Le carbone s'unit en deux proportions à l'oxygène : la première combinaison que forment ces corps est un gaz inflammable qui renferme 8 d'oxygène pour 6 de carbone; la seconde contient 16 d'oxygène pour 6 de carbone; c'est le gaz acide carbonique qui est connu de tout le monde.

Dans tous les cas où les éléments s'unissent pour former une combinaison quelconque, on retrouve les mêmes rapports fixes et invariables.

L'analyse de l'acide acétique démontre que 100 parties de cette substance renferment 47,06 de carbone, 5,88 d'hydrogène et 47,06 d'oxygène. Or, une fois que je sais quelle est la quantité d'oxygène et d'hydrogène qui se trouve combinée avec 47, 06 de carbone, rien n'est plus facile que de calculer en quelle proportion l'oxygène et l'hydrogène existent dans l'acide acétique relativement à 6 de carbone : il suffit de faire une simple règle de trois. En effet, pour 6 de carbone, il y a dans l'acide acétique 3/4 d'hydrogène et 6 d'oxygène, ou bien, en nous servant de nombres entiers, 24 de carbone (4 fois 6), 3 d'hydrogène (4 fois 3/4), et 24 d'oxygène (3 fois 8).

Ou bien encore, connaissant la quantité de carbone et d'hydrogène qui, dans l'acide acétique se trouve combinée avec 47, 06 d'oxygène, je calcule en quelle proportion ces deux éléments s'unissent à 8 d'oxygène, et j'arrive à l'un des nombres constants énoncés précédemment, c'est-à-dire

1 d'hydrogène et 6 de carbone pour 8 d'oxygène : or la multiplication de ces chiffres par 3 ne change pas leur rapport.

La composition de toutes les combinaisons chimiques, sans exception, peut s'exprimer absolument de la même manière par des nombres fixes auxquels cette propriété a valu le nom de *poids atomiques*, et d'*équivalents*, lorsqu'on les considère au point de vue de leur remplacement réciproque, attendu qu'ils expriment réellement les quantités suivant lesquelles les corps entrent en combinaison, ou , en d'autres termes, donnent lieu à des effets semblables. Pour déterminer une action chimique quelconque avec de l'oxygène, il me faut toujours 8 de ce corps; et si au lieu d'oxygène je veux employer du soufre, je sais qu'il me faut constamment 16 de cette dernière substance : ces poids atomiques expriment des équivalents d'effets.

La connaissance de la loi exprimée dans ces rapports invariables de combinaisons a conduit les chimistes à faire usage de signes qui leur permettent de désigner, sous une forme extrêmement simple, la composition d'une combinaison, le remplacement de l'un de ces éléments par un autre et, en général, la manière dont ils conçoivent leur arrangement. En conséquence, les chimistes sont convenus de désigner les éléments ainsi que leurs équivalents par les premières lettres de leurs noms latins, en sorte que O n'exprime pas seulement l'oxygène, il exprime encore 8 parties en poids d'oxygène; H exprime 1 partie en poids d'hydrogène; S, 16 parties en poids de soufre. On n'a pas de peine à concevoir les avantages que présente ce mode de notation. En effet, il serait impossible à la mémoire la plus heureuse d'avoir constam-

ment présente la composition, calculée pour 100 parties, d'une cinquantaine de combinaisons ; mais rien de plus facile que de se rappeler ces signes ou formules si simples à comprendre. Le chimiste exprime la composition de 100 parties d'eau (renfermant 88,889 d'oxygène et 11,111 d'hydrogène), par HO, le double de cette quantité par $2HO$, le triple par $3HO$, etc ; il exprime l'oxyde de carbone par CO, l'acide carbonique par CO_2, l'acide acétique par $C_4H_3O_3$, la combinaison de l'acide acétique avec l'eau par $C_4H_3O_3 + HO$, l'éther par C_4H_5O, l'alcool par $C_4H_5O + HO$.

Les corps composés forment des groupes qui présentent des propriétés ou un caractère chimique analogue, et qui peuvent se remplacer mutuellement dans leurs combinaisons. Tout le monde connaît les propriétés du groupe appelé *acides;* mais peut-être est-on moins familier avec le nom de *base,* par lequel on désigne en général une combinaison douée de la faculté de détruire, de neutraliser la propriété acide des premiers. La combinaison d'un acide avec une base porte le nom de *sel*, n'importe sa saveur. Une base peut en remplacer une autre dans un sel, un acide peut se substituer à un autre acide, et lorsqu'on cherche avec soin dans quelles proportions les oxydes métalliques, qui appartiennent à la catégorie des bases, se remplacent, on reconnaît qu'il faut des poids très-différents de base, suivant celle que l'on emploie. Pour séparer 10 parties d'une base on a besoin de 15 parties d'une autre base, de 25 parties d'une troisième, etc. Maintenant, si les 10 parties de la première renferment 5 parties d'oxygène, il est évident que les

15 parties de la seconde et les 25 de la troisième, etc., ne contiendront toujours que 5 parties d'oxygène, ni plus ni moins. Les quantités d'oxygène des bases métalliques qui se remplacent demeurent invariables ; seulement les métaux qui se trouvent combinés avec lui se remplacent en raison de leurs équivalents : pour 39,2 de potassium qui sortent d'une combinaison, il y entre 101,4 de mercure.

Les chimistes sont convenus d'appeler un *équivalent d'oxyde métallique* toute quantité d'oxyde métallique qui contient 8 parties en poids d'oxygène, c'est-à-dire un équivalent d'oxygène, sans avoir égard au nombre d'équivalents de métal que renferme la combinaison. En conséquence, lorsque l'on connaît la quantité d'acide qu'exige un équivalent pour former un sel neutre, cette quantité d'acide reste toujours absolument la même pour tout équivalent d'une autre base, attendu que ces autres bases contiennent précisément autant d'oxygène que la première, et que leur substitution réciproque se règle uniquement d'après cette quantité d'oxygène On est également convenu d'appeler *un équivalent d'acide* la quantité d'acide nécessaire pour saturer un équivalent de base.

Ces notions une fois acquises, on n'a pas de peine à comprendre pourquoi les chimistes expriment la composition de l'acide acétique par la formule $C_4 H_3 O_3$ et non pas par $C_2 H_{1\frac{1}{2}} O_{1\frac{1}{2}}$ ou toute autre formule quelconque. Si nous additionnons les nombres que ces signes expriment (C_4 = 4 fois 6 ou 24 de carbone, H_3 = 3 d'hydrogène, O_3 = 24 d'oxygène), nous obtenons un total de 51. Ces 51 parties d'acide acétique sont la quantité de cet acide, exprimée en

poids, qui s'unit avec un équivalent quelconque d'oxyde métallique pour former un sel. En général, la formule d'un acide se rapporte à un équivalent de base, et celle d'une base à un équivalent d'acide. Quant à la formule d'une autre combinaison quelle qu'elle soit, elle se rapporte constamment à la proportion pondérale, suivant laquelle ses éléments s'unissent à l'équivalent connu d'un autre corps. Dans beaucoup de cas, les formules n'expriment que les rapports mutuels de deux ou de plusieurs corps.

On reconnaît le prix inestimable de ces signes lorsqu'on a à comparer les combinaisons chimiques au point de vue de leur composition, lorsqu'on veut se rendre compte de leurs changements, de leurs transformations, de leurs décompositions, et les exprimer sans recourir à une autre analyse.

Ainsi, par exemple, j'ai fait une analyse de l'acide acétique, et je veux m'assurer si les nombres que m'a fournis mon expérience sont exacts. Pour cela je n'ai qu'à exprimer par les nombres équivalents le résultat de l'expérience, c'est-à-dire les quantités de carbone, d'hydrogène et d'oxygène obtenues. Ces nombres ayant été déterminés avec toute l'exactitude imaginable, plus les miens concorderont avec eux, plus j'accorderai de confiance à mon analyse. Si mes nombres s'éloignent de ceux-là, je dois présumer qu'une erreur s'est glissée dans mon opération, et je dois la recommencer. L'analyse chimique trouve donc un contrôle sévère dans les nombres équivalents; ces nombres m'avertissent quand j'ai commis une erreur, ou lorsque la substance em-

ployée par moi n'avait pas le degré de pureté nécessaire. Tout le monde peut traduire les formules suivantes :

$$C_{14}H_6O_2 = \text{huile d'amandes amères.}$$
$$C_{14}H_6O_2 = \text{acide benzoïque.}$$

L'huile d'amandes amères emprunte de l'oxygène à l'air et se transforme en acide benzoïque.

L'inspection de ces formules fait connaître le rapport qui existe entre ces deux corps : traduites par des nombres, elles expriment la quantité exigée pour les transformer l'un dans l'autre.

$$C_4H_5O = \text{éther.}$$
$$C_4 \begin{smallmatrix} H_3 \\ O_2 \end{smallmatrix} O = \text{acide acétique.}$$

L'éther se transforme en alcool en enlevant de l'oxygène à l'acide acétique. Il est aisé de voir, d'après les formules, que la transformation consiste en ce que deux équivalents d'hydrogène ont quitté l'éther et ont été remplacés par deux équivalents d'oxygène. Tout cela est de la plus grande simplicité, et l'on comprendra sans peine maintenant ce que nous avons avancé au commencement de cette lettre, que lorsqu'on vient à découvrir un nouveau métal ou un nouveau métalloïde, il suffit de déterminer la quantité de ce métal qui se combine avec 8 d'oxygène, ou la quantité de ce métalloïde qui s'unit à 39,2 de potassium pour connaître, d'après le chiffre obtenu, en quelle proportion pondérale ces nouveaux corps se combinent avec les autres. C'est par ce procédé que l'on a trouvé l'équivalent du lanthane et du cé-

rium ou didyme, deux nouveaux métaux découverts depuis peu dans le cérite, ainsi que l'équivalent du brôme, métalloïde découvert il y a déjà un certain nombre d'années dans les eaux de la mer.

L'imagination créatrice de l'homme n'est pour rien dans les faits que je viens d'exposer. Chaque nombre est le résultat d'une quantité considérable d'analyses faites avec soin : sans doute elles ne sont pas venues se systématiser et se formuler d'elles-mêmes en loi. La découverte de cette loi, dont l'importance est immense, est due à la sagacité d'un Allemand, et le nom de Richter vivra autant que la science elle-même.

LETTRE V.

Causes des proportions chimiques. — Théorie atomique.

Ainsi qu'il est facile de le concevoir, le chimiste philosophe a d'abord dû se demander pourquoi ces rapports pondéraux fixes et invariables, et rechercher quelle était la cause d'un phénomène aussi constant. Il doit en effet exister une cause qui empêche les éléments de s'unir en d'autres proportions, et qui oppose un obstacle insurmontable à une diminution ou à une augmentation quelconque de ces proportions. Leur fixité est le résultat de cette cause, mais nos investigations ne peuvent pas aller au-delà du fait : quant à la cause elle-même, elle échappe à l'appréciation de nos sens, elle ne peut être qu'un pur objet de spéculation.

Je vais essayer de développer la doctrine généralement professée aujourd'hui sur la cause des proportions chimiques; mais auparavant je dois prévenir que sa fausseté ou sa vérité n'ont absolument rien à faire avec la loi elle-même : car celle-ci, à titre de simple expression de l'expérience, demeure toujours vraie et ne change pas, quelles que puissent être les vicissitudes de nos théories sur les causes du phénomène.

Parmi les théories professées sur la nature de la matière, il en est une très-ancienne, la théorie atomique, à l'aide de la-

quelle on se fait une idée claire, et pour ainsi dire matérielle, des proportions chimiques. Cette théorie suppose que dans un espace occupé par un corps solide, liquide ou aériforme, toutes les parties de cet espace ne sont pas remplies par la matière. On admet donc que tout corps a des pores, mais des pores infiniment plus petits que ceux que nos yeux peuvent apercevoir dans un morceau de bois, par exemple. Suivant cette doctrine, un corps se compose de particules extrêmement ténues, situées à une certaine distance les unes des autres ; entre deux de ces particules, il existe donc un intervalle qui n'est pas rempli par la matière du corps.

La vraisemblance de cette idée saute aux yeux, puisque nous pouvons, en comprimant un volume d'air, lui faire occuper un espace mille fois plus petit, et que les corps solides et liquides eux-mêmes diminuent de volume sous l'influence d'une pression mécanique. Une bille de billard, lancée avec une certaine force contre un corps dur, s'aplatit et reprend sa forme sphérique en rebondissant. L'élévation de température augmente le volume de tous les corps et le refroidissement le diminue.

Il résulte évidemment de ces expériences bien connues que l'espace occupé par un corps dépend de circonstances accidentelles, et qu'il varie avec les causes qui tendent à augmenter ou à diminuer son volume. Maintenant si l'on réfléchit que dans le lieu occupé par une petite particule de matière, c'est-à-dire par ce qui, dans un corps, remplit réellement l'espace, il n'y a pas de place en même temps pour une seconde ou une troisième molécule, on arrivera tout naturellement à concevoir que l'augmentation ou la diminution

du volume d'un corps est le résultat de l'éloignement ou du rapprochement de ses molécules. Il est évident que dans une livre d'eau liquide, les molécules sont plus rapprochées que dans une livre de vapeur, qui occupe, à la pression ordinaire, un espace dix-sept cents fois plus grand que l'eau.

Cette théorie éclaire une foule de phénomènes que nulle autre hypothèse n'a pu expliquer jusqu'à présent d'une manière aussi simple.

La théorie atomique suppose, en outre, que les petites particules dont se compose la masse d'un corps ne sont pas divisibles en particules plus petites ; de là le nom d'*atomes* qu'elles ont reçu.

Il est tout à fait impossible à notre intelligence de se figurer des particules absolument indivisibles. Mathématiquement parlant, elles ne peuvent être infiniment petites, c'est-à-dire sans étendue, puisqu'elles sont pesantes, et que, si faible qu'on suppose leur poids, nous pouvons concevoir leur division en 2, en 3, en 100 parties.

Mais, d'un autre côté, nous pouvons très-bien concevoir que cette indivisibilité des atomes n'existe que relativement à nos moyens mécaniques de division, et que, quoique divisibles mathématiquement parlant jusques à l'infini, ils sont pour nous comme s'ils étaient indivisibles. En ce sens, un atome physique représenterait un groupe de particules beaucoup plus petites, maintenues agrégées en un tout par une force ou par des forces plus puissantes que toutes celles dont nous pouvons disposer pour opérer leur division.

Il en est des atomes et de ce que le chimiste entend par-là comme des corps élémentaires admis par la science ac-

tuelle. Les cinquante-six corps simples connus ne sont des éléments que par rapport aux forces et aux moyens dont nous disposons pour les réduire en éléments encore plus simples. Or nous ne le pouvons pas, et, pour être fidèles aux principes de la méthode scientifique, nous les appelons corps simples jusqu'à ce que l'expérience nous ait fourni un moyen plus puissant d'analyse. Sous ce rapport, l'histoire de la science est pleine d'enseignements utiles : toutes les fois que l'on est sorti du terrain de l'expérimentation pure, il en est résulté une foule d'erreurs et de fausses hypothèses qui ont fait rétrograder la science. Sans nier la divisibilité à l'infini de la matière, le chimiste ne fait que défendre le terrain de sa science lorsqu'il admet l'existence d'atomes physiques comme une vérité tout à fait incontestable.

Un professeur de l'université de Tubingue a rendu cette idée sensible par une image ingénieuse. Il compare les atomes aux corps célestes qui sont d'une petitesse infinie, relativement à l'espace dans lequel ils se meuvent, et en constituent pour ainsi dire les atomes. Tous ces soleils innombrables avec leurs planètes et leurs satellites se meuvent à des distances déterminées les uns des autres : ils sont indivisibles relativement à l'existence de forces capables de soustraire quelque chose à leur masse ou d'altérer leur forme et leur volume à un degré assez appréciable pour que leur rapport avec les autres corps célestes en soit troublé ; mais ils ne sont point indivisibles d'une manière absolue. En ce sens, le monde représente un grand corps, dont les atomes, les corps célestes, sont indivisibles et immuables.

Ainsi, au point de vue de la théorie atomique, un morceau

de verre, un morceau de cinabre, un morceau de fer, etc., représentent une agglomération d'atomes de verre, de cinabre, de fer, dont l'agrégation est déterminée par la force de cohésion. La plus petite particule de fer imaginable est toujours du fer. Quant au cinabre, nous savons de la manière la plus positive qu'une molécule de ce corps, quoique mécaniquement indivisible, contient cependant d'autres molécules encore plus petites, à savoir, une molécule de soufre et une molécule de mercure : nous connaissons même le poids relatif du soufre et du mercure qui entrent dans la composition de la molécule indivisible de cinabre.

Le fer est composé d'atomes absolument semblables entre eux. Le cinabre est également constitué par des atomes absolument semblables entre eux et dont chacun est du cinabre ; mais ceux-ci, au lieu d'être simples comme ceux du fer, sont susceptibles d'une division ultérieure. Leur homogénéité n'est qu'apparente, car nous savons qu'ils sont composés. Nous pouvons, il est vrai, en le râclant, en le triturant, en le limant, réduire un morceau de cinabre en une poussière extrêmement fine; mais il nous est impossible, quelque puissance mécanique que nous employions, de vaincre la force qui tient unies les molécules non homogènes, les parties intégrantes d'un atome composé. L'affinité chimique se distingue de la force de cohésion précisément en ce qu'elle ne manifeste son action que lorsque des atomes de nature différente se trouvent en contact. Or, comme les atomes ne peuvent point se pénétrer les uns les autres, il s'ensuit nécessairement que les atomes composés résultent de la juxtaposition des atomes simples sous l'influence de

l'affinité qu'ils exercent les uns sur les autres; ils se groupent par deux, par trois, par cent, etc., et tous ces groupes représentent des parties absolument semblables de la masse totale. Nous pouvons nous figurer la plus petite particule de cinabre comme un groupe de deux atomes, dont l'un est un atome de mercure et l'autre un atome de soufre.

Quand on considère que mille livres de cinabre renferment la même proportion de soufre et de mercure qu'une livre ou un grain, et que l'on se représente un morceau de cinabre composé d'un million d'atomes, il est évident que dans un seul atome, aussi bien que dans un million, le soufre entrera toujours pour 16 et le mercure pour 101. Si nous décomposons le cinabre par le fer, l'atome de mercure sortira et sa place sera occupée par un atome de fer. Si nous remplaçons le soufre du cinabre par de l'oxygène, un atome de ce dernier se substituera à l'atome de soufre.

Il est facile de concevoir d'après cette hypothèse sur la composition des corps et sur leur remplacement réciproque, que les nombres équivalents n'expriment pas autre chose que le poids relatif des atomes. Il n'est pas possible de déterminer ce que pèse un atome isolé, de déterminer son poids absolu, mais nous pouvons calculer la proportion pondérale pour laquelle chaque atome entre dans une combinaison chimique, c'est-à-dire le poids relatif des atomes de nature différente. Ainsi, pour remplacer 8 parties d'oxygène en poids, j'ai besoin d'un poids de soufre égal à 16 ou double de celui du premier corps, parce que l'atome de soufre pèse deux fois autant que l'atome d'oxygène; mais si je veux remplacer l'oxygène par de l'hydrogène, le poids d'hydrogène

dont j'ai besoin sera seulement le huitième de celui de l'oxygène, parce qu'un atome d'hydrogène est 8 fois plus léger qu'un atome d'oxygène. L'oxyde de carbone est un groupe de deux atomes, l'acide carbonique un groupe de trois atomes : pour un atome de carbone, le premier contient un atome, et le second deux atomes d'oxygène.

La théorie qui se fonde sur l'existence de particules indivisibles explique la fixité des rapports pondéraux que suivent les corps dans leurs combinaisons. En effet, ces particules ayant des poids inégaux et ne pouvant pas se pénétrer mutuellement, la combinaison doit consister en une juxtaposition de molécules.

Dans le sens propre du mot, les équivalents chimiques expriment des effets semblables, c'est-à-dire les proportions pondérales suivant lesquelles les corps entrent dans les combinaisons chimiques pour produire des effets égaux; et nous nous représentons ces effets en les attribuant à des particules non divisibles qui occupent un certain espace et possèdent une forme déterminée. Nous n'avons aucun moyen de connaître d'une manière positive le véritable nombre des atomes, même dans la combinaison la plus simple; car pour cela il faudrait être en état de les voir et de les compter. Aussi, quelle que soit notre conviction touchant l'existence d'atomes physiques, l'opinion que les équivalents expriment en réalité le poids relatif des divers atomes n'est qu'une simple hypothèse qu'il nous est impossible de démontrer.

Un atome de cinabre contient 16 de soufre pour 101 de mercure, et les chimistes admettent que ce rapport exprime le poids relatif d'un atome de mercure et d'un atome de

soufre. Or ce n'est là qu'une pure hypothèse; car il se pourrait que le chiffre 101 représentât le poids de deux, de trois, de quatre ou d'un nombre plus considérable encore d'atomes de mercure. Si c'étaient deux atomes, ce serait par 50,5 que l'atome de mercure devrait être exprimé; si c'étaient trois atomes, il devrait l'être par le nombre 33,6. Dans un cas, nous dirions que le cinabre se compose de deux atomes, et, dans l'autre, de trois atomes de mercure pour un atome de soufre.

A quelque chiffre que l'on s'arrête et que l'on admette 2 ou 3 atomes de mercure ou de soufre, la composition du cinabre n'en demeure pas moins la même. L'adoption d'une autre hypothèse pour le nombre des atomes qui entrent dans une combinaison chimique n'introduirait de changement que dans la formule. C'est pourquoi ce que l'on aura toujours de mieux à faire, ce sera de bannir du langage symbolique de la chimie, dont l'unique but est de rendre intelligibles et palpables la composition des combinaisons chimiques, leurs substitutions, leurs transformations et leurs décompositions; d'en bannir, disons-nous, tout ce qui rappelle l'hypothèse, et d'éviter, par conséquent, de faire servir les formules à exprimer des opinions sujettes à changer. Le rapport numérique des équivalents qui entrent comme parties constituantes dans une combinaison chimique est constant et susceptible d'être déterminé; mais le nombre, proprement dit, des atomes qui s'unissent pour former un équivalent, sera toujours impossible à découvrir. Il n'y a nul inconvénient à ce que nous prenions les équivalents pour le poids même des atomes, toutes les fois qu'il ne s'agit que de considérations théoriques

et de donner à une idée une forme plus intelligible. En ce sens, ainsi que tout le monde le comprendra, ces nombres expriment simplement les différences de poids des atomes entre eux, combien un atome pèse plus qu'un autre. Jusqu'à présent les nombres employés ont été rapportés à une unité de poids égale à la quantité d'hydrogène qui doit se trouver unie à l'oxygène pour former de l'eau. Or, l'eau renfermant une partie en poids d'hydrogène et huit parties en poids d'oxygène, si l'on admet que ce liquide se compose d'un atome d'hydrogène et d'un atome d'oxygène, et qu'on suppose, outre cela, que pour remplacer un atome du premier ou un atome du second, il ne faille qu'un atome d'un autre corps ni plus ni moins, les poids des autres corps exprimeront les poids des atomes par des nombres qui se rapporteront naturellement à une partie en poids d'hydrogène ou à huit en poids d'oxygène. En multipliant tous les nombres équivalents par 12 1/2, l'équivalent de l'hydrogène sera 12, 5; celui de l'oxygène sera 100, et les autres nombres exprimeront combien il faut de chacun des autres corps pour remplacer 100 d'oxygène ou 12 1/2 d'hydrogène. On voit que la multiplication de tous les équivalents par un seul et même nombre ne change en aucune façon les rapports qui existent entre eux, et qu'il est parfaitement indifférent de se servir de nombres qui se rapportent à l'hydrogène, pris comme unité, ou bien à l'oxygène = 100.



LETTRE VI.

Autres considérations sur les atomes. — Forme des atomes. — Forme cristalline. — Cristallisation simultanée des sels contenus dans la même dissolution. — Cause de ce phénomène ; similitude de forme cristalline ou de constitution atomique. — Isomorphisme. — Poids spécifique. — Volume des atomes.

Nous nous représentons les atomes comme occupant un certain espace et possédant une forme déterminée. Ces atomes, en s'unissant entre eux, donnent naissance à des atomes composés qui occupent un espace plus grand ou plus petit que les atomes simples pris ensemble. La forme de ces atomes composés doit varier suivant la manière dont les atomes simples se combinent, c'est-à-dire suivant les rapports qu'ils affectent entre eux. Dans les corps cristallisés, les plus petites particules possédant une forme déterminée, il est facile de constater le rapport qui existe entre la forme du cristal et sa constitution moléculaire. Nous possédons sur ce sujet des observations du plus haut intérêt. Lorsque, par exemple, deux sels de forme cristalline différente cristallisent dans un même liquide, les cristaux de chacun d'eux se forment aussi parfaitement que s'il n'y avait qu'un sel dans le liquide. Quand on met une poignée de nitrate de potasse (salpêtre) et de sel marin dans une suffisante quantité d'eau,

les deux sels s'y dissolvent. Si alors nous exposons la dissolution à la chaleur d'un fourneau, l'eau s'évapore peu à peu et les deux sels se déposent en cristaux au fond du vase. A l'œil nu, on distingue les cubes formés par le sel marin d'avec les longs prismes du nitrate de potasse. Si nous retirons du liquide un cristal de sel marin pour le laver avec un peu d'eau pure, nous nous convaincrons qu'il ne contient aucune trace de nitrate de potasse; d'un autre côté, le cristal de nitrate de potasse ne renfermera lui-même aucune trace de sel marin. Or, il suffit de considérer que les deux cristaux se sont formés simultanément dans un seul et même liquide, pour conclure à l'instant, d'après la nature des cristaux, que les molécules du sel marin s'étant uniquement réunies, pour former un cristal, à des molécules de sel marin, n'ont augmenté de volume qu'en s'attirant exclusivement les unes les autres. Les molécules du nitrate se sont évidemment comportées de la même manière. Enfin, une fois que l'eau tout entière s'est évaporée, on a un mélange intime de sel marin et de nitrate de potasse; mais les deux sortes de cristaux qui composent le mélange sont isolés les uns des autres.

Si l'on verse un peu d'eau chaude sur du sulfalte de magnésie et du nitrate de potasse, et qu'on décante le liquide après qu'il s'est saturé des deux sels, des cristaux de sulfate de magnésie et de nitrate de potasse se déposeront les uns à côté des autres pendant le refroidissement graduel du liquide; mais aucun de ces cristaux ne contiendra la moindre trace de l'autre sel. Il est clair, dans ce nouvel exemple, que les molécules du sulfate de magnésie n'ont exercé aucune attraction sur celles du nitrate de po-

tasse. Nous devons penser, au contraire, qu'il y a eu une sorte de répulsion entre elles ; car, sans cela, non-seulement les molécules du nitrate de potasse et du sulfate de magnésie, ou celles du nitrate de potasse et du sel marin se seraient déposées les unes à côté des autres, mais encore ces molécules auraient dû se déposer par couches les unes sur les autres.

Le sulfate de magnésie se comporte tout autrement à l'égard du sulfate de nickel ou du sulfate de zinc. Lorsque le sulfate de magnésie et le sulfate de zinc cristallisent ensemble dans le même liquide, on n'observe aucune séparation entre eux ; les cristaux formés contiennent en même temps du sulfate de zinc et du sulfate de magnésie, ou bien du sulfate de nickel et du sulfate de magnésie, et les deux sels y existent dans la proportion même où ils se trouvaient dans la dissolution. Il est évident que les molécules du sulfate de zinc et du sulfate de magnésie ont exercé les unes sur les autres, au moment de la précipitation, une égale attraction, puisqu'un cristal de sulfate de magnésie a attiré une molécule de sulfate de zinc, absolument comme il aurait attiré une autre molécule de sulfate de magnésie, et *vice versa*. Il n'y a pas ici une sorte de choix comme entre le sel marin et le nitrate de potasse.

Maintenant si l'on compare un cristal de sulfate de nickel avec un cristal de magnésie, on verra que tous les deux possèdent la même forme cristalline. Ainsi le cristal de sulfate de magnésie ressemble à du sulfate de nickel dont la couleur serait blanche, et le sulfate de nickel à du sulfate de magnésie coloré en vert ; ce sont les mêmes arêtes, les mêmes

faces, les mêmes sommets Or, un gros cristal consistant dans l'agglomération de cristaux plus petits, et ceux-ci dans l'agglomération de particules cristallines, il faut nécessairement que les dernières particules du sulfate de nickel aient la même forme que la dernière et plus petite particule du sulfate de magnésie, ou, ce qui revient au même, que le groupe d'atomes qui se réunit pour former un atome de sulfate de zinc ou de sulfate de nickel, ait la même forme que le groupe qui constitue un atome de sulfate de magnésie. C'est pourquoi le cristal, dans lequel ces deux groupes se trouvent réunis, possède la forme qui caractérise chacun de ses propres éléments constitutifs (le sulfate de magnésie et le sulfate de nickel ou de zinc).

Des observations ultérieures ont démontré que la similitude des formes cristallines de deux corps n'est point la seule cause qui leur permette de cristalliser ensemble; ce n'est pas non plus à elle seule que les cristaux mixtes doivent de présenter la forme propre aux substances qui leur ont donné naissance.

Ainsi, par exemple, un cristal de chlorhydrate d'ammoniaque présente la même forme géométrique qu'un cristal d'alun, et cependant ces deux corps cristallisent séparément dans le même liquide. Les cristaux d'alun ne contiennent point de chlorhydrate d'ammoniaque, et ceux-ci ne renferment aucune trace d'alun, ce qui dépend évidemment de ce que, malgré l'identité de forme des atomes cristallins de ces deux corps, la force avec laquelle les molécules d'alun s'attirent entre elles ou avec laquelle les molécules de chlorhydrate d'ammoniaque s'attirent mutuellement, est beaucoup

plus puissante que l'attraction exercée par les molécules du chlorhydrate d'ammoniaque sur celles de l'alun ; car ici rien ne nous révèle l'existence de cette dernière.

En comparant la constitution des composés qui, malgré la similitude de leurs formes cristallines, ne cristallisent pourtant pas ensemble, avec la constitution de ceux qui, dans les mêmes circonstances, donnent lieu à des cristaux mixtes, on voit que les premiers ont une constitution non similaire, tandis que les autres présentent la même constitution dans toutes leurs parties ou fragments. Ainsi le sulfate de magnésie, le sulfate de zinc, le sulfate de nickel renferment absolument le même nombre d'atomes composés ; de sorte que ces deux derniers se distinguent uniquement en ce que, au lieu d'un équivalent ou d'un atome de magnésium, ils contiennent un atome de nickel ou de zinc. C'est pourquoi nous obtenons un cristal de sulfate de zinc ou de nickel lorsque nous enlevons le magnésium d'un cristal de sulfate de magnésie, et que nous le remplaçons par un équivalent de zinc ou de nickel.

L'atome de chlorhydrate d'ammoniaque, à raison des éléments qui entrent dans sa constitution, n'est formé que de deux atomes composés ; l'alun qui cristallise dans la même forme contient trente atomes composés. Il est impossible de se figurer une constitution moins similaire, aussi ces deux corps ne forment-ils point de cristaux mixtes.

Toutes les recherches ultérieures ont démontré que, dans une multitude de cas, la similitude de constitution dans les corps détermine une forme cristalline identique ; que deux composés de formes cristallines semblables et capables de

donner des cristaux mixtes possédant la même configuration géométrique, ont aussi la plupart du temps la même constitution, ou, en d'autres termes, contiennent le même nombre d'atomes ou d'équivalents groupés dans le même ordre. Dans les cas où deux sels de formes cristallines différentes cristallisent ensemble, on observe constamment que la forme du cristal mixte est la même que celle de l'un des sels qui ont concouru à le former, et que sa constitution est semblable à celle de ce dernier. Ainsi, en mêlant du sulfate de cuivre avec du sulfate de zinc, deux sels de forme différente et de constitution non similaire, on obtient, suivant que la quantité de l'un ou de l'autre prédomine, des cristaux mixtes, qui conservent la forme du sulfate de cuivre ou celle du sulfate de zinc, et l'on voit que dans le premier cas ils ressemblent au sulfate de cuivre et dans le second au sulfate de zinc, sous le rapport de leur constitution.

Les faits qui prouvent que, dans un grand nombre de combinaisons, la forme cristalline est tout à fait indépendante de la différence des éléments, sont nombreux. Les aluns sont les corps qui nous offrent les exemples les plus remarquables sous ce rapport. On désigne sous ce nom des composés qui possèdent une constitution analogue à celle de l'alun ordinaire, dont les parties constituantes sont l'acide sulfurique, l'alumine, la potasse et l'eau. L'alun cristallise en beaux octaèdres réguliers. Nous pouvons en extraire l'alumine et la remplacer par l'oxyde de fer, l'oxyde de chrôme, l'oxyde de manganèse, sans que, d'ailleurs, l'alun éprouve le moindre changement dans sa forme ou sa constitution. L'alun ferrique, dans lequel l'oxyde de fer remplace l'alumine, est

incolore et se confond par son aspect extérieur avec l'alun ordinaire. L'alun chromique n'en diffère en rien, si ce n'est par sa couleur rouge noir, et l'alun manganésique par sa couleur violette. Lorsqu'à la température de l'atmosphère on met un cristal d'alun chromique dans une dissolution saturée d'alun ordinaire, à mesure que l'eau s'évapore, les molécules cristallines de l'alun ordinaire viennent se déposer à la surface du cristal d'alun chromique, absolument comme si elles étaient elles-mêmes des molécules d'alun chromique.

La face du cristal qui touche le fond du vase est celle dont l'étendue augmente le plus rapidement; mais en retournant chaque jour le cristal, toutes ses faces s'accroissent uniformément, et l'on finit par avoir un octaèdre régulier d'alun ordinaire blanc et transparent dont le centre est occupé par un octaèdre régulier et rouge noir d'alun chromique. Celui-ci sert de noyau au cristal.

De même nous pouvons enlever l'acide sulfurique de l'alun et le remplacer par l'acide chromique et l'acide sélénique, deux acides dont la constitution est la même que la sienne; nous pouvons remplacer la potasse par l'ammoniaque, et cela sans changer le moins du monde la forme des cristaux de l'alun. Il suit de là, non-seulement dans l'exemple que nous présente l'alun, mais encore dans tous les cas où l'alumine, l'oxyde de fer, l'oxyde de chrome, l'oxyde de manganèse, où l'acide sulfurique, l'acide chromique et l'acide sélénique, où la potasse et l'ammoniaque se remplacent respectivement dans les combinaisons, que la forme du nouveau composé demeure la même. C'est seulement dans le cas où, par suite de ces substitutions, le composé vient à recevoir un

élément nouveau ou à perdre un de ses autres éléments, que l'on voit la forme cristalline changer, à cause du changement qui s'est opéré dans la constitution moléculaire du composé.

Ce n'est que successivement qu'on a appris à connaître et à partager en groupes les corps susceptibles de se remplacer dans des combinaisons analogues, sans en changer la forme cristalline. On a donné à ces corps le nom d'*isomorphes*, c'est-à-dire substances de même forme, expression qui indique parfaitement leur propriété. Ainsi, quand on dit : le chlore, le brôme, l'iode, le cyanogène, le fluor, ou bien la chaux, la magnésie, le protoxyde de fer et le protoxyde de manganèse sont isomorphes, on entend par-là que leurs combinaisons, identiques sous le rapport de la constitution, possèdent la même forme cristalline et peuvent se remplacer mutuellement sans l'altérer.

Ainsi qu'il est facile de le comprendre, un cristal d'alun peut renfermer de l'oxyde de fer et de l'alumine, ou de la potasse et de l'ammoniaque en quantités variables et tout à fait indéterminées, sans cesser pour cela d'être un cristal d'alun et d'être considéré comme de l'alun. En effet, ce qui constitue le caractère propre des substances isomorphes, c'est de pouvoir se remplacer, non pas dans des proportions fixes, mais dans toutes les proportions possibles. Cette particularité sembla d'abord en contradiction avec la loi des proportions fixes et constantes qui avait déjà été reconnue ; mais cette apparente contradiction s'explique de la manière la plus simple et la plus satisfaisante, une fois que l'on connaît le fait sur lequel repose le phénomène, à savoir, l'identité de forme et d'attraction des molécules.

Cette belle découverte, qui est due à un Allemand, a surtout profité à la minéralogie pour laquelle elle a eu d'importants résultats. Les tentatives entreprises pour classer les minéraux suivant leurs éléments constitutifs s'accompagnaient de confusions et de difficultés sans nombre. Les chimistes les plus scrupuleux étaient en contradiction formelle sur la composition des minéraux les mieux caractérisés. L'un, par exemple, trouvait dans le grenat d'Arendal au delà de 13 pour cent de magnésie, substance qui manque complétement dans les grenats de Fahlun, du Vésuve, etc.; pour le grenat rouge ou grenat de Bohême, l'analyse a donné 27 pour cent d'alumine, substance dont on ne trouve aucune trace dans le grenat jaune d'Altenau. — Quels sont donc les éléments constitutifs du grenat? Quel est le caractère propre de sa constitution? — Cette énigme s'est éclaircie d'une manière fort simple. En effet, là où l'alumine manque, elle se trouve remplacée par l'oxyde de fer qui lui est isomorphe; et l'on a reconnu que le grenat contient des quantités variables d'oxydes isomorphes, sesquioxyde de fer et alumine ou chaux, protoxyde de manganèse et protoxyde de fer, susceptibles de se remplacer entre eux sans altérer la forme de la combinaison.

Plus tard des mensurations plus exactes des cristaux ont démontré que les combinaisons analogues de substances isomorphes ne présentent pas toujours une forme absolument identique : que, par exemple, les angles formés par les surfaces entre elles ne sont pas parfaitement égaux. Or la plus belle confirmation que pussent recevoir nos idées sur l'existence des atomes, c'est que ces différences s'expliquent

par des considérations tirées de la théorie atomique.

Effectivement, si nous nous représentons un cristal formé par la juxtaposition d'atomes dont chacun a une forme déterminée, et la forme du cristal comme étant subordonnée à celle de ses plus petites molécules, nous concevrons alors que l'atome d'alumine doit occuper un certain espace dans l'atome d'alun. Si nous enlevons à ce cristal l'atome d'alumine et le remplaçons par un atome d'oxyde de fer, le cristal d'alun conservera sa forme géométrique, pourvu que l'atome d'oxyde de fer ait la même forme que l'atome d'alumine. Toutefois la forme du cristal d'alun ne restera identiquement la même qu'autant que l'atome d'oxyde de fer aura le même volume que l'atome d'alumine. Mais si l'oxyde isomorphe n'occupe pas exactement l'espace de l'atome remplacé, si son volume est plus petit ou plus considérable, cette différence devra se faire reconnaître à l'inclinaison des faces du cristal par rapport à son axe.

On est parvenu, d'une manière fort ingénieuse, à comparer l'espace respectif occupé par les atomes de deux substances isomorphes qui se remplacent dans une combinaison. Chacun sait que les corps solides, liquides ou gazeux, ont des poids très différents sous des volumes égaux. C'est une comparaison que nous faisons, sans y penser, entre l'espace qu'occupe un morceau de bois et celui qu'occupe un morceau de plomb d'un volume égal, quand nous disons que le bois est plus léger que le plomb. Une livre de bois a exactement le même poids qu'une livre de plomb; mais un pouce cube de plomb pèse plus de onze fois autant qu'un pouce cube de bois. La différence de poids que les corps possèdent sous le

même volume a été déterminée avec exactitude par les physiciens et exprimée par des nombres : c'est ce qu'on appelle *poid spécifique* des corps. De même que l'on peut comparer les poids respectifs de deux corps, en cherchant combien de fois une unité de poids connue, une livre, par exemple, se trouve contenue dans la masse de chacun de ces deux corps, sans avoir égard à l'espace qu'ils occupent, de même on est convenu, pour déterminer le poids spécifique des corps, de se servir d'une unité de poids ayant un *volume connu*. C'est le poids de l'eau que l'on a choisi pour unité. Ainsi l'on exprime par des nombres qui se rapportent au poids d'un volume d'eau, le nombre de fois qu'un corps de même volume que ce liquide pèse de plus qu'un autre corps. Le poids d'un volume égal d'eau est donc une mesure, une unité de poids, et le nombre qui désigne le poids spécifique d'un corps exprime combien de fois ce corps pèse plus ou moins que l'eau, sous le même volume, ou combien de fois l'unité de poids s'y trouve contenue.

Pour trouver le poids d'un corps sans avoir égard à l'espace qu'il occupe, c'est-à-dire pour trouver son poids absolu, nous le plaçons sur l'un des plateaux d'une balance, et sur l'autre nous mettons autant d'unités de poids, de livres par exemple, qu'il en faut pour que l'équilibre s'établisse entre les deux plateaux. Il est absolument indifférent pour ce cas de prendre pour unité de poids, du plomb, du fer, du platine, du bois ou une autre matière quelconque. Donc, si au lieu d'une livre de fer nous supposons une livre d'eau, si nous admettons que sur l'un des plateaux de la balance nous avons mis le corps et versé dans l'autre une quantité d'eau

suffisante pour que les deux plateaux se fassent équilibre, nous aurons le poids du corps exprimé par une livre d'eau. Si maintenant nous comparons l'espace occupé par le corps que nous venons de peser, avec l'espace qu'occupe un poids égal d'eau, nous saurons, d'une manière exacte, combien de fois, à poids égal, l'eau occupe plus ou moins d'espace que le corps en question.

Lorsqu'on place sur un plateau de balance un pouce cube de fer, il faut, pour rétablir l'équilibre entre les deux plateaux, mettre 7 $^3/_4$ pouces cubes d'eau. Par conséquent 1 pouce cube d'eau est 7 $^3/_4$ fois plus léger que 1 pouce cube de fer, ou, ce qui revient au même, 1 pouce cube de fer est 7 $^3/_4$ fois plus pesant que 1 pouce cube d'eau [1].

Si nous mettons dans une balance cent volumes d'essence de térébenthine en équilibre avec de l'eau, nous voyons que 86 volumes de ce dernier liquide sont aussi pesants que 100 volumes du premier, ou que 100 volumes de térébenthine occupent la place de 86 volumes d'eau; en d'autres termes, qu'à volume égal, l'essence de térébenthine ne pèse que les $^{86}/_{100}$ du poids de l'eau.

[1] C'est tout simplement comme exemple que je vais indiquer ici de quelle manière on peut déterminer avec la plus grande exactitude le volume des corps qui échappent à nos instruments de mensuration, d'une quantité donnée de sable, par exemple. Qu'on se figure un verre gradué, c'est-à-dire un verre muni d'une échelle dont chaque degré indique une capacité d'un pouce cube, et dont chacun est à son tour divisé en 100 parties. Si l'on remplit à moitié d'eau ce verre, et qu'on verse dans cette eau un poids déterminé de sable, l'eau montera, et cela d'une quantité égale au volume du sable ajouté. La différence de niveau que présente l'eau avant et après l'introduction du sable indique en pouces cubes et en centièmes de pouce l'espace occupé par ce dernier.

Les poids spécifiques ne sont pas autre chose que les poids des corps comparés à des poids d'eau d'un volume égal au leur et exprimés par des nombres représentant ces poids.

Il est, pour ainsi dire, superflu de donner l'explication des nombres 7,75 pour le fer, 11,3 pour le plomb, 1,989 pour le soufre, 4,948 pour l'iode, 1,38 pour le chlore liquide. On comprend que ces chiffres expriment combien de fois le fer, le plomb, le soufre, l'iode, le chlore liquide pèsent plus qu'un égal volume d'eau. La différence de poids qui existe entre deux volumes égaux de soufre et de fer est la même que la différence présentée par les nombres 1,989 et 7,75, et la différence de poids que présentent deux volumes égaux d'iode et de chlore est comme 4,948 est à 1,380. Il est évident que la différence de poids qui existe entre deux corps de même volume demeure absolument la même, quel que soit le volume que nous leur supposions. Les nombres qui expriment cette différence augmenteront ou diminueront à mesure que le volume changera, mais cette augmentation ou cette diminution sera toujours proportionnelle à celle que subira le volume. La différence de poids que nous constatons entre 2 pouces cubes d'iode et 1 pouce cube de chlore, est exprimée par le rapport que présentent entre eux le nombre deux fois 4,948 = 9,896 et le nombre 1,380, etc.

Maintenant, la question qui se présente à résoudre est celle de savoir pourquoi à volume égal les corps ont des poids inégaux. D'après l'idée que nous nous faisons aujourd'hui de la constitution des corps, tous se composent d'une agrégation de particules pesantes, dont chacune occupe un certain espace et possède une forme déterminée. La connais-

sance des substances isomorphes a mis hors de doute que le fait de leur remplacement mutuel dans les combinaisons, sans que la forme cristalline de celles-ci en soit modifiée, dépend de ce que les atomes de ces substances ont une forme et un volume identiques; or, lorsque nous voyons la forme cristalline d'une combinaison changer à la suite du remplacement d'un corps par un autre, nous devons supposer que cette modification tient à ce que les atomes de ce second corps ont une forme différente de celle des atomes du premier, ou bien tient à ce qu'ils n'occupent pas le même espace dans la combinaison. Toutes ces considérations réunies conduisent à l'idée que les particules des corps auxquelles nous donnons le nom d'atomes ont des poids et des volumes inégaux. Cette hypothèse explique de la manière la plus simple possible le poids spécifique des corps. En effet, si le plomb, à volume égal, pèse plus que le fer, le fer plus que le soufre, l'iode plus que le chlore, ce phénomène dépend de ce que l'atome d'iode est plus pesant que l'atome de chlore, ou de ce que, sous le même espace, il se trouve un plus grand nombre d'atomes de plomb que d'atomes de fer, par exemple.

En supposant que, sous un volume d'un pouce cube, deux corps différents, tels que l'iode et le chlore, contiennent un nombre égal d'atomes, mille par exemple, les poids spécifiques de ces volumes égaux d'iode et de chlore exprimeront évidemment la différence de poids qui existe entre les atomes de ces deux substances. Si le pouce cube d'iode pèse 4,948 grains, le pouce cube de chlore devra peser 1,380 grains; 1/1000 de pouce cube d'iode renfermant un atome de ce corps pèsera, par conséquent, 4,948 grains, et

1/1000 de pouce cube de chlore, renfermant un atome de chlore, pèsera 1,380 grains.

Mais le chlore et l'iode étant isomorphes entre eux, si nous supposons que leurs atomes ont le même volume et la même forme, et si dans le même volume d'iode et de chlore, il y a un nombre égal d'atomes de chacun, les nombres qui exprimeront les poids spécifiques de ces corps devront être entre eux dans le même rapport que leurs nombres équivalents ou que leurs poids atomiques. Pour enlever à une combinaison 4,948 grains d'iode, et pour les remplacer par du chlore, il faudra exactement 1,380 grains de ce dernier. Une simple règle de trois montre que les choses se passent réellement de cette manière. Le poids spécifique de l'iode est à celui du chlore comme 4,948 est à 1,380, ou, ce qui donne absolument le même rapport, comme leurs équivalents sont entre eux, c'est-à-dire comme 126 d'iode est à 35,2 de chlore.

Ce rapport remarquable, qui a eu pour effet inattendu de fixer l'attention des savants sur une simple propriété physique (le poids spécifique), a été constaté dans toutes les substances isomorphes. Les nombres qui représentent leurs poids spécifiques, expriment les rapports pondéraux suivant lesquels elles se remplacent dans les combinaisons : ce rapport est absolument le même que celui qui nous est offert par les nombres équivalents. De plus, toutes les fois que nous remarquons une anomalie dans les corps isomorphes, toutes les fois, par conséquent, que leurs poids spécifiques ne concordent pas exactement avec leurs nombres équivalents, cette anomalie se trahit dans l'inclinaison des surfaces du cristal, dans les angles, par exemple, que les

arêtes forment avec l'axe du cristal. La forme de celui-ci ne reste identiquement la même que lorsque les atomes des substances isomorphes qui se remplacent ont un égal volume en même temps qu'une forme semblable. Si le volume de l'atome qui entre dans la combinaison est plus petit que celui de l'atome sortant, cette différence se traduira par une modification dans la forme du nouveau cristal.

Afin de pouvoir exprimer, d'une manière comparative, par des nombres, l'espace qu'occupent les atomes de corps différents, voici à quel point de vue on s'est placé.

Supposons que les nombres équivalents expriment des poids réels : admettons que le nombre 35,2 pour le chlore, exprime 35,2 onces de ce corps, que le nombre 12,6 pour l'iode signifie 12,6 onces de ce corps, et qu'il en est de même des nombres 27,2 pour le fer, 29,6 pour le nickel. Maintenant, si nous divisons chacun de ces nombres par le poids de 1 *pouce cube* de chlore, d'iode, de fer, de nickel, ou, ce qui revient au même, par les poids spécifiques de ces corps (1 pouce cube d'eau pesant une once dans notre hypothèse, 1 pouce cube de chlore pèsera 1,380, 1 pouce cube d'iode 4,948, 1 pouce cube de fer 7,790, 1 pouce cube de nickel 8,477), il est évident que nous saurons par là combien de pouces cubes de chlore, d'iode, de nickel ou de fer se trouvent contenus dans un équivalent de ces corps; en d'autres termes, les quotients obtenus exprimeront, en pouces cubes, l'espace qu'occupe un équivalent de chlore, d'iode, de fer et de nickel, ou, pour parler d'une manière tout à fait générale, le rapport des volumes de ces corps à leurs équivalents ou à leurs poids atomiques.

Or, d'après notre hypothèse, les atomes des substances isomorphes possèdent la même forme et le même volume ; leur nombre est le même dans des espaces égaux. Si donc, dans un équivalent de chlore, il y a exactement autant d'atomes que dans un équivalent d'iode, la division de leur poids atomique par leur poids spécifique devra nous donner le même nombre pour ces deux corps. En effet, 35,2, qui est le poids atomique du chlore, divisé par 1,380, qui est le poids spécifique de ce même corps, donne le nombre 25 : et 126, qui est le poids atomique de l'iode, divisé par 4,948, donne également le nombre 25.

Il est aisé de voir que, d'après la supposition que nous avons faite, il ne saurait en être autrement. Le poids atomique ou le nombre équivalent des corps isomorphes doit, lorsqu'on le divise par le poids spécifique, donner un seul et même quotient, puisque des espaces égaux contiennent le même nombre d'atomes. Si le nombre d'atomes n'est pas le même, ou si ces atomes diffèrent entre eux sous le rapport de la configuration et du volume, cette différence se fera également reconnaître dans les quotients. On voit combien la connaissance de ces nombres est précieuse, lorsqu'il s'agit de comparer l'espace respectif occupé par les atomes de différents corps. Pour donner un nom à ces nombres, on leur a appliqué la dénomination de volume atomique ou volume spécifique des corps. Ainsi donc, si le volume atomique du chlore est 25 et celui de l'iode également 25, nous dirons que ces deux corps sont semblables, qu'ils sont isomorphes. Le soufre, au contraire, n'est pas isomorphe au chlore : car, son volume atomique qui est 8, diffère beaucoup de celui du

chlore; mais en revanche il est le même que celui du sélénium avec lequel le soufre est isomorphe.

Ces nombres permettent, par conséquent, de reconnaître au premier coup d'œil, quels sont les corps qui, sous le même volume, contiennent un nombre égal ou différent d'atomes. On peut ainsi comparer les rapports réciproques de ces nombres et les déterminer d'une façon rigoureuse, ce qui est d'une haute importance.



LETTRE VII.

Appareils chimiques. — Matériaux qui servent à les fabriquer ; verre, caoutchouc, liége, platine. — Balance. — Éléments admis par les anciens. — Lavoisier et les chimistes modernes. — Étude des éléments de la terre. — Reproduction synthétique des minéraux. — Lapis-lazuli. — Chimie organique.

Comme je me propose de parler des progrès de la chimie moderne et du développement qu'a pris cette science, il me semble convenable de dire auparavant quelques mots des substances et des appareils dont les chimistes se servent pour leurs travaux. J'y consacre donc cette septième lettre, et je ne crois pas avoir besoin de justification à ce sujet. Privée des secours du verre, du liége, du platine et du caoutchouc, la chimie n'aurait peut-être pas encore à cette heure fait la moitié des progrès qu'elle a accomplis. A l'époque de Lavoisier, les études chimiques n'étaient accessibles qu'à un fort petit nombre de personnes et seulement à des gens riches. Cela dépendait de la cherté des appareils.

Il n'est personne qui ne connaisse les merveilleuses propriétés du verre. Il est transparent, incolore, très-dur, inattaquable par les acides et la plupart des liquides. A une certaine température, il devient ductile et flexible comme la cire. Dans la main du chimiste, il prend, quand on le soumet

à la flamme d'une lampe, toutes les formes d'appareils dont celui-ci a besoin pour ses expériences.

Le liége, de son côté, ne possède pas des propriétés moins précieuses. Cependant, combien est petit le nombre des personnes qui savent apprécier la valeur de cette substance si commune ! En effet, c'est en vain que l'on chercherait une matière plus appropriée que le liége à l'emploi que nous en faisons chaque jour, c'est-à-dire au bouchage des bouteilles. Le liége est une masse molle et extrêmement élastique, qui se trouve naturellement pénétrée par une substance (la *subérine*) qui tient le milieu entre la cire, le suif et la résine. C'est à la subérine que nos bouchons doivent la propriété d'être complétement imperméables aux liquides, et même jusqu'à un certain point aux fluides gazeux. Au moyen du liége, nous unissons ensemble de larges orifices et des orifices étroits. A l'aide du caoutchouc et du liége, nous unissons nos vaisseaux et nos tubes de verre, et nous construisons les appareils les plus compliqués. Grâce à ces deux substances, nous n'avons pas besoin, à chaque instant, de l'ouvrier en métaux et du mécanicien, de vis et de robinets. Ainsi, nos appareils chimiques sont aussi peu dispendieux que prompts et faciles à fabriquer ou à réparer.

Sans platine, nous serions hors d'état d'exécuter certaines analyses chimiques. Pour analyser un minéral, il faut le réduire à l'état liquide, soit par dissolution, soit par fusion. Or, le verre, la porcelaine, toutes les espèces de creusets non métalliques, sont détruits par les procédés à l'aide desquels nous liquéfions les minéraux. Les creusets d'argent et même d'or fondent à une température très-élevée. Le platine est

meilleur marché que l'or ; il a plus de dureté et dure plus que l'argent. Il est infusible à toutes les températures de nos fourneaux, et n'est attaqué ni par les acides, ni par les carbonates alcalins. En un mot, le platine réunit à lui seul les propriétés de l'or et de la porcelaine infusible. Sans le platine, nous ignorerions peut-être encore aujourd'hui la composition de la plupart des minéraux. Sans le liége et le caoutchouc, nous aurions à chaque instant besoin de l'assistance du mécanicien. Enfin, sans la dernière de ces substances, nos appareils seraient bien plus coûteux et bien plus fragiles. Mais le plus précieux des avantages que nous trouvions dans le liége et dans le caoutchouc, c'est l'énorme économie de temps qu'ils nous procurent.

Actuellement, le laboratoire du chimiste n'est plus la voûte à l'épreuve du feu, mais obscure et froide du métallurgiste : ce n'est plus l'officine du pharmacien remplie de cornues et d'alambics. Le chimiste travaille dans une chambre claire, chaude et comfortable. Des lampes parfaitement construites remplacent les fourneaux de fusion. La flamme pure et inodore de l'esprit de vin remplace le charbon et nous fournit tout le feu dont nous avons besoin. Si à ces simples auxiliaires l'on ajoute encore la balance, l'on aura l'inventaire du mobilier scientifique du chimiste.

Le physicien mesure, et le chimiste pèse. C'est là ce qui distingue essentiellement les deux sciences; on peut même dire qu'il n'existe pas entre elles d'autre différence. Il y a déjà des siècles que les physiciens mesurent ; il y a au contraire à peine cinquante années que l'on s'est mis à employer la balance. Toutes les grandes découvertes de La-

voisier, nous les devons à la balance, à cet incomparable instrument qui confirme toutes nos observations et nos découvertes, qui dissipe nos doutes et fait briller la vérité, qui nous redresse quand nous avons commis une erreur, ou bien établit l'exactitude de nos recherches quand nous avons procédé convenablement. C'est la balance qui a mis fin au règne de la physique d'Aristote. La méthode aristotélicienne, c'est-à-dire l'explication des phénomènes de la nature à l'aide de spéculations sans fondement, a fait place à une méthode véritablement philosophique. Parmi les prétendus éléments d'Aristote, il en est trois, savoir : l'air, l'eau et la terre, qui dès lors ne pouvaient plus être regardés que comme des exemples des trois états sous lesquels existe la matière. En effet, tout ce qui est à la surface de la terre a existé ou existe sous forme solide, liquide ou aériforme. Ainsi donc la terre, l'eau et l'air représentent les périodes qu'a parcourues notre planète. Quant au feu, il était le représentant visible et sensible de ces divers changements d'état de la matière.

C'est à Lavoisier que nous devons la découverte de la composition de l'air et de l'eau. La génération qui l'a suivi devait donc prendre pour but de ses recherches la composition de l'écorce de notre globe. Aux dix-huit métaux déjà connus, vinrent se joindre vingt-quatre nouveaux corps qui entrent comme éléments simples dans la composition des minéraux. L'énorme intervalle qui existait entre l'oxygène et les métaux s'est trouvé rempli par des corps qui établissent une série graduée entre les deux extrêmes. Les chimistes montrèrent que presque tous les minéraux se composaient

de deux ou de plusieurs oxydes en proportions déterminées et invariables. Ainsi, par exemple, on trouve des oxydes métalliques combinés avec d'autres oxydes dont le radical, comme le carbone ou le silicium, diffère essentiellement des métaux sous le rapport de ses propriétés. Il existe une autre classe de minéraux qui comprend les sulfides, c'est-à-dire des corps composés dans lesquels le soufre joue le rôle de l'oxygène. Enfin, un corps fort commun, à savoir, le sel de cuisine, est composé de chlore et de sodium. Quant aux autres espèces de combinaisons naturelles que nous connaissons, comme les fluorides, les arsénides, etc., elles n'existent qu'en très-petites quantités.

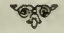
Mais le chimiste ne s'est pas contenté d'analyser les minéraux, de les réduire en leurs éléments primitifs; il a fait voir qu'il pouvait les reconstituer par synthèse, c'est-à-dire les reproduire à volonté à l'aide de leurs éléments. Ainsi, il a fabriqué de la pierre-ponce, du feldspath, du mica, des sulfures métalliques, etc. Le chef-d'œuvre de la chimie inorganique, sous le rapport de la reproduction des minéraux, est incontestablement le fait de la fabrication artificielle du lapis-lazuli. Aucun minéral n'était plus digne que celui-là d'attirer l'attention des chimistes. Sa magnifique couleur bleu de ciel, son inaltérabilité à l'air et au feu le plus violent, le prix énorme qu'il coûtait aux peintres qui s'en servaient dans leurs tableaux, donnaient un haut intérêt à la découverte de sa fabrication artificielle. L'outre-mer, en effet, était plus cher que l'or, et il semblait impossible d'arriver à le fabriquer; car l'analyse chimique n'y avait fait découvrir la présence d'aucune matière colorante particulière, la silice,

l'alumine, la soude étant toutes trois incolores, tandis que d'autre part le fer et le soufre ne sont nullement bleus. Or, on n'avait trouvé dans le lapis-lazuli aucun autre élément, et on ne savait à quelle cause attribuer sa couleur bleue. Actuellement avec de la silice, de l'alumine, de la soude, du fer et du soufre, on fabrique plusieurs milliers pesant d'outre-mer, et cet outre-mer artificiel est encore plus beau que le naturel. Aujourd'hui donc on peut acheter plusieurs livres de cette magnifique couleur avec une somme qui jadis aurait à peine suffi pour en payer une once.

On peut dire que, depuis la fabrication de l'outre-mer artificiel, la reproduction d'un minéral quelconque a cessé d'être un problème scientifique pour les chimistes. Quant aux géologues, il est certain que ce problème cessera d'en être un pour eux quand ils suivront la voie tracée par la chimie. Mais il se passera encore bien du temps avant que les géologues se résolvent à faire des expériences qu'ils ne doivent pas attendre des chimistes, les recherches de cet ordre n'ayant plus aucun intérêt pour ces derniers. Pour le chimiste, cette partie de la science ne présente plus de questions à résoudre.

Une fois que les chimistes eurent reconnu quels sont les éléments simples, métaux et métalloïdes, qui entrent dans la composition de la croûte solide de notre globe, et quelles sont les réactions que ces éléments exercent les uns sur les autres, ils durent naturellement se proposer d'autres problèmes. A cette heure, la chimie se propose pour but de déterminer les transformations en produits d'un ordre plus élevé qu'éprouvent certains éléments, quand ils sont soumis

à l'influence vitale d'un organisme végétal ou animal. Ainsi se développe une science toute nouvelle, inépuisable comme la vie elle-même, ayant pour point de départ les fondements solides et inébranlables de la chimie inorganique. Après les bourgeons, les feuilles et les rameaux, viennent les fleurs. Après les fleurs, on voit se développer les fruits. De même, nous voyons la chimie passer progressivement de l'étude des minéraux à celle des règnes végétal et animal, et s'unir enfin à la physiologie pour sonder les sources mystérieuses de la vie organique.



LETTRE VIII.

Métamorphoses de la matière. — Conversion des gaz en liquides et en corps solides. — Acide carbonique; propriétés de ce gaz à l'état solide. — Condensation des gaz par les corps poreux, par l'éponge de platine. — Importance de cette propriété dans la nature.

Dans les lettres qui précèdent, j'ai dit que les éléments admis par les anciens n'avaient pour nous d'autre valeur que celle de symboles. Ainsi pour nous, ils représentent simplement les formes ou les états sous lesquels la matière peut s'offrir à l'observation. Maintenant je dois ajouter que ces états des corps n'ont qu'une existence relative, et qu'actuellement la chimie ne saurait admettre qu'un corps soit immuablement solide, liquide ou aériforme. Le platine, l'alumine et le cristal de roche, il est vrai, ne se liquéfient pas alors même qu'on les soumet à la chaleur la plus violente de nos fourneaux. Cependant, quand on les expose à la flamme du chalumeau à gaz, ces substances se ramollissent comme de la cire. D'un autre côté, parmi les vingt-huit gaz connus, il en est vingt-cinq qui se laissent réduire à l'état liquide. Enfin, il en est un que l'on est parvenu à solidifier.

La loi de Mariotte, que jusqu'alors on avait crue applicable à tous les gaz, ne peut plus être considérée comme une

loi générale. Ainsi, on ne saurait admettre aujourd'hui que tous les gaz diminuent de volume proportionnellement à l'augmentation de la force comprimante. En général, cependant, une pression double ou triple de la pression atmosphérique réduit le volume des gaz à la moitié ou au tiers de leur volume primitif. Mais dans le cas de certains gaz, tels que l'acide sulfureux et le cyanogène, la diminution de volume, quand on arrive à la pression de quatre atmosphères, cesse de correspondre exactement à la pression ; elle croît beaucoup plus rapidement que cette dernière. Lorsque, sous la pression atmosphérique ordinaire, on réduit le gaz ammoniaque au sixième de son volume, il cesse de suivre la loi de Mariotte; et à la pression de trente-six atmosphères, le gaz acide carbonique se comporte de la même manière. Sous l'influence de la compression que nous venons de dire, une partie de ces gaz passe de la forme gazeuse à l'état liquide; mais à l'instant où la pression diminue, ces liquides repassent à l'état aériforme.

Les appareils dont se servent les chimistes pour réduire les gaz à l'état liquide sont admirables de simplicité. Un froid artificiel très intense sous un simple tube de verre recourbé remplace aujourd'hui les machines à comprimer les plus puissantes.

Lorsqu'on chauffe du cyanure de mercure dans un tube de verre ouvert, ce corps se décompose en mercure métallique et en cyanogène qui s'échappe sous forme de gaz; mais si l'on se sert d'un tube hermétiquement fermé à ses deux extrémités, la chaleur produira comme tout à l'heure la décomposition du cyanure de mercure : seulement le cya-

nogène ne pourra s'échapper au dehors, et restera renfermé dans un espace clos qui est plusieurs centaines de fois plus petit que celui qu'il occuperait sous la pression atmosphérique ordinaire dans un tube ouvert. La conséquence naturelle qui résulte de là, c'est que la plus grande partie du gaz passe à l'état liquide dans la portion du tube que l'on soumet à la réfrigération. Lorsque l'on verse de l'acide sulfurique sur de la pierre à chaux dans un vase ouvert, l'acide carbonique se dégage avec effervescence sous forme de gaz. Mais si l'on opère cette décomposition dans un vase de fer de forme convenable, d'une extrême solidité et hermétiquement fermé, l'on peut obtenir jusqu'à une livre d'acide carbonique à l'état liquide. Sous une pression de 36 atmosphères, l'acide carbonique se sépare, sous forme fluide, des corps avec lesquels il était combiné.

Il n'est personne qui n'ait entendu parler, ne fût-ce que par la voie des journaux, des merveilleuses propriétés de l'acide carbonique liquide. Si on laisse couler à l'air libre un mince filet de ce liquide, il repasse à l'état gazeux avec une rapidité extraordinaire, et la portion d'acide qui redevient gazeuse soutire à la portion qui reste liquide une telle quantité de calorique, que cette dernière se congèle en une masse blanche cristalline semblable à de la neige. On crut d'abord que cette substance cristallisée était réellement de la neige, c'est-à-dire de la vapeur d'eau de l'atmosphère qui s'était congelée : mais un examen plus attentif démontra bientôt que cette prétendue neige était purement et simplement de l'acide carbonique cristallisé par le froid. Contrairement à ce que l'on attendait, on a remarqué que cet acide carbo-

nique solidifié n'exerce qu'une très faible pression sur les parois qui le contiennent. Ainsi, tandis que l'acide carbonique liquide, renfermé dans un tube de verre, repasse, aussitôt qu'on ouvre le tube, à l'état de gaz, avec une explosion qui brise le tube en mille pièces, on peut toucher et manier l'acide carbonique solide, sans éprouver d'autre effet qu'une sensation de froid excessivement intense. Les molécules de l'acide carbonique sont aussi rapprochées que possible lorsqu'il se trouve sous forme solide : la force de cohésion des fluides, qui est d'ordinaire tout à fait imperceptible, se déploie ici avec toute son énergie. C'est cette force de cohésion qui empêche l'acide de repasser à l'état gazeux. Cependant elle est à la fin vaincue, et le solide repasse peu à peu à l'état aériforme, au fur et à mesure que les corps environnants lui cèdent du calorique. Le degré de froid ou, si on le préfère, la réfrigération que détermine la transition de l'acide carbonique de la forme solide à la forme gazeuse, est incalculable. Quand on met une masse de mercure pesant dix à vingt livres et même davantage, en contact avec un mélange d'éther et d'acide carbonique solidifié, le métal devient en un clin d'œil solide et malléable. La génération future ne sera plus admise à être spectatrice de cette admirable expérience exécutée en grand : car, par malheur, elle est extraordinairement dangereuse, ainsi que l'a prouvé un événement déplorable arrivé dans le laboratoire de l'Ecole Polytechnique de Paris, immédiatement avant le cours de chimie. Un cylindre de fer d'un pied de diamètre et de deux pieds et demi de longueur, où l'on avait fait dégager de l'acide carbonique pour faire une expérience devant l'audi-

toire, éclata tout à coup, et ses fragments furent lancés avec la violence la plus terrible. Le préparateur, qui était seul présent, eut les deux jambes emportées et mourut des suites de sa blessure. On ne peut, sans frémir, songer à la catastrophe effroyable qu'aurait causée, au milieu d'une salle remplie d'élèves, la rupture de ce vaisseau en fonte de fer, extrêmement épais et tout à fait semblable à un canon de fort calibre. Cependant, ce qui éloignait encore plus tout idée de danger, c'est que ce tube avait déjà souvent servi à exécuter cette curieuse expérience.

Depuis que l'on sait que la plupart des gaz se fluidifient par l'effet de la compression ou du froid, la singulière propriété que possède le charbon de bois d'absorber et de condenser de dix à vingt fois son volume de certains gaz, a cessé d'être un mystère. Ce corps absorbe même soixante-dix à quatre-vingt-dix fois son volume de gaz ammoniaque et de gaz acide chlorhydrique. Ces gaz se trouvent renfermés et condensés dans les pores du charbon dans un espace plusieurs centaines de fois plus petit que celui qu'ils occupaient auparavant. On ne peut douter maintenant qu'ils n'y existent en partie à l'état liquide ou à l'état solide. Ici donc, comme dans mille autres cas, l'action chimique remplace les forces mécaniques. L'idée que l'on se formait de l'adhésion a, par cette découverte, acquis une signification plus étendue. Jusqu'à présent on ne l'avait jamais crue capable de déterminer un changement d'état dans la matière : aujourd'hui on voit dans la cause qui détermine l'adhérence d'un gaz à la surface d'un corps solide l'antithèse de la dissolution.

Le plus petit volume d'un gaz, d'air atmosphérique par

exemple, peut, à l'aide de la simple compression mécanique, être réduit à un volume mille fois plus petit. La masse de ce volume de gaz est à l'égard de celle que présente la surface mesurable d'un corps solide, comme la masse d'un globule de moelle de sureau est à la masse d'une montagne. Donc, par la simple action de la masse, c'est-à-dire par le simple effet de la pesanteur, tout corps solide doit attirer les molécules gazeuses et les faire adhérer à sa surface. Mais si, à cette force physique se surajoute une affinité chimique, pour faible qu'elle soit, il est évident que les gaz *coercibles* ou liquéfiables ne pourront persister dans leur état aériforme.

Il nous est évidemment impossible de mesurer la condensation qu'une surface d'un pouce carré fait éprouver à l'air : mais si nous nous figurons un corps solide présentant, dans l'espace d'un pouce cube, une surface de plusieurs centaines de pieds carrés, puis que nous placions ce corps au milieu d'un volume de gaz déterminé, il nous devient facile de comprendre pourquoi ce volume de gaz diminue : tous les gaz se comportent de la même manière dans les mêmes circonstances; ils sont, comme l'on dit vulgairement, absorbés. Les pores d'un pouce cube de charbon offrent, au calcul le plus bas, une surface de cent pieds carrés. La propriété que possède cette substance d'absorber les gaz varie suivant l'espèce de charbon qu'on emploie. La quantité de gaz absorbée est d'autant plus grande que les pores sont plus nombreux et par conséquent plus petits dans un même espace; en d'autres termes, le charbon à grands pores absorbe beaucoup moins que le charbon à petits pores.

Par la même raison, toutes les substances poreuses, telles que les diverses espèces de pierres et de roches poreuses, les mottes de terre, absorbent réellement l'air atmosphérique et par conséquent l'oxygène. Chaque molécule de ces corps se trouve donc entourée par de l'oxygène condensé qui lui forme une petite atmosphère particulière ; et si, dans le voisinage de ces molécules, il existe d'autres substances qui aient de l'affinité pour l'oxygène, il s'opère une combinaison. Lorsque, par exemple, les corps situés à proximité contiennent du carbone et de l'hydrogène, ce carbone et cet hydrogène se transforment en acide carbonique et en eau, deux combinaisons chimiques nécessaires à la nutrition des végétaux. Le développement de calorique qui s'opère lorsque l'air est imprégné d'eau, et la production de vapeurs qui a lieu lorsque la terre est humectée par la pluie, sont évidemment le résultat de cette condensation par l'action des surfaces.

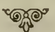
Le corps qui exerce l'absorption la plus extraordinaire sur l'oxygène de l'air, est le platine métallique. Le platine est un métal d'un blanc brillant lorsqu'il est en masse. Mais quand on le sépare des liquides dans lesquels on l'a fait dissoudre, il se présente à nous dans un tel état de division, c'est-à-dire sous forme d'une poudre tellement ténue, que ses molécules ne réfléchissent plus la lumière, et qu'il paraît aussi noir que du noir de fumée. Dans cet état, il absorbe plus de huit cents fois son volume de gaz oxygène. Cet oxygène doit donc se trouver alors dans un état de condensation qui le rapproche de l'eau à l'état liquide.

Lorsqu'un gaz est ainsi condensé, c'est-à dire, lorsque ses molécules primitives se trouvent ainsi extrêmement rappro-

chées les unes des autres, ses propriétés deviennent évidentes et faciles à apprécier; car l'action chimique qui est propre à chaque gaz se développe avec d'autant plus d'énergie que celui-ci perd davantage sa propriété physique caractéristique. En effet, ce qui distingue essentiellement un corps gazeux, c'est que ses molécules tendent continuellement à s'écarter les unes des autres. Or, comme l'action chimique ne peut s'exercer qu'autant que les molécules sont à un certain degré de proximité les unes des autres, il est facile de comprendre comment l'élasticité des gaz est le principal obstacle qui empèche le déploiement de leur activité chimique. Mais quand les molécules gazeuses cessent de se repousser, et c'est ce qui a lieu lorsqu'elles se trouvent renfermées dans les pores ou adhérentes à la surface des corps solides, le gaz peut alors déployer toute son activité chimique. Ainsi certaines combinaisons dans lesquelles l'oxygène ne peut pas entrer tant qu'il est sous son état ordinaire, certaines décompositions qu'il ne peut pas opérer, lorsqu'il est également sous sa forme habituelle, ces combinaisons et ces décompositions, dis-je, s'effectuent au contraire avec une facilité extrême dans les pores du platine qui contiennent de l'oxygène condensé. Dans le platine réduit en poussière très-fine et même dans ce qu'on appelle l'éponge de platine, nous possédons un véritable mouvement perpétuel, c'est-à-dire un mécanisme qui marche et se monte lui-même, une force qui ne s'épuise jamais et qui est capable de produire des effets extrêmement puissants, lesquels se renouvellent d'eux-mêmes à l'infini. Quand on dirige un courant d'hydrogène sur une éponge de platine

dont les pores, ainsi que je viens de le dire, sont constamment remplis d'oxygène condensé, les deux gaz se trouvant en contact se combinent ensemble, et il se forme de l'eau dans l'intérieur de l'éponge métallique. Le résultat immédiat du dernier phénomène, c'est-à-dire de la combustion de l'hydrogène pour former de l'eau, est un dégagement considérable de calorique : le platine rougit et le courant d'hydrogène s'enflamme. Si l'on interrompt le courant du gaz inflammable, les pores du platine se réemplissent instantanément d'oxygène, et en dirigeant de nouveau le courant d'hydrogène, on voit se reproduire immédiatement le même phénomène : l'expérience peut donc se répéter à l'infini et toujours avec le même résultat.

La découverte de cette propriété des corps solides et particulièrement des corps poreux, a rendu un grand service à la science, en lui permettant d'expliquer d'une manière parfaitement satisfaisante bon nombre de phénomènes qui avaient jusqu'à ce jour résisté à toute explication. La transformation de l'alcool en vinaigre par le procédé connu sous le nom de fabrication instantanée du vinaigre, est certainement une des branches les plus importantes de l'industrie agricole. Cette fabrication est fondée sur des principes à la découverte desquels les chimistes sont arrivés par l'étude sérieuse des propriétés des corps poreux.



LETTRE IX.

Fabrication de la soude au moyen du sel commun.— Son importance pour le commerce et l'industrie. — Verre. — Savon. — Acide sulfurique. — Affinage de l'argent. — Blanchîment. — Commerce du soufre.

On peut regarder la fabrication de la soude, au moyen du sel commun, comme la cause et le principe de l'essor extraordinaire que l'industrie moderne a pris dans toutes les directions. Cette fabrication fournit, à mon avis, un exemple sensible et frappant de la connexion intime qui existe entre les branches de commerce et d'industrie les plus diverses. Elle est en outre une preuve évidente de l'influence que les progrès de la chimie exercent sur toutes les industries humaines.

Le sous-carbonate de soude ou l'élément principal qui entre dans la composition de ce sel, la soude, est depuis un temps immémorial employé en France dans les manufactures de verre et de savon, deux produits de la chimie industrielle qui, à eux seuls, mettent en circulation des masses énormes de capitaux.

La quantité de savon que consomme une nation peut servir à mesurer le degré de son opulence et de sa civilisation.

Les économistes refuseront probablement d'accorder une pareille importance au savon. Mais que l'on prenne au sérieux ou que l'on tourne en plaisanterie ma manière de voir, peu importe. Il n'en est pas moins positif que, si l'on compare deux pays également peuplés, on trouvera plus de richesse, plus de bien-être, plus de civilisation, dans celui où se fera la plus grande consommation de savon. En effet, l'usage du savon n'est pas une affaire de mode ou de sensualité : il est intimement lié à l'amour du beau, du bien-être et du comfort, qui accompagne toujours celui de la propreté. Or, les peuples que de tels goûts sollicitent sont toujours les plus avancés sous le rapport de l'aisance et de la civilisation. Au moyen-âge, où l'usage du savon était inconnu, les gens riches savaient, à l'aide de parfums très-coûteux, déguiser les exhalaisons peu agréables qui émanaient de leur corps et de leurs vêtements ; ils déployaient plus de luxe que nous dans leurs festins, dans leurs vêtements et dans leurs chevaux. Cependant quelle différence entre cette époque et la nôtre, où le manque de propreté est le signe le plus évident de la pauvreté et de la misère la plus affreuse !

Tous les produits manufacturiers représentent une valeur en argent, un capital quelconque. Pour quelques-uns, ce capital disparaît absolument de la circulation et a besoin d'être sans cesse renouvelé. Le savon appartient à cette catégorie peu nombreuse. De même que le suif et l'huile qui servent à l'éclairage, il est complétement détruit par l'usage, et il n'en reste rien qui représente une valeur quelque faible qu'on la suppose. Avec des morceaux de verre cassé, on peut encore acheter des carreaux de vitres : avec de vieux chiffons, on

peut se procurer des habits neufs ; mais l'eau de savon n'a aucune espèce de valeur. Il serait fort intéressant de connaître d'une manière exacte le montant des capitaux mis en circulation par les manufactures de savon : car il est certainement aussi considérable que celui que met en circulation le commerce du café, avec cette différence toutefois qu'en Allemagne nous tirons entièrement de notre sol les capitaux employés à la fabrication du savon.

Anciennement, la France importait annuellement d'Espagne pour 20 à 30 millions de francs de soude ; car la soude d'Espagne était la meilleure. Pendant toute la durée de la guerre avec l'Angleterre, le prix de la soude et par conséquent celui du savon et du verre allèrent sans cesse en augmentant. Les manufactures françaises eurent donc considérablement à souffrir de cet état de choses. Ce fut alors que Leblanc découvrit les moyens d'extraire la soude du sel commun. Ce procédé fut pour la France une source de richesses ; seulement l'inventeur ne reçut pas le grand prix que Napoléon avait proposé pour cette découverte. Car sur ces entrefaites arriva la Restauration qui ne voulut pas reconnaître cette dette : elle en avait de plus pressantes à acquitter, et ainsi la dette contractée envers Leblanc se trouva prescrite.

La fabrication de la soude prit fort rapidement une extension extraordinaire en France ; mais naturellement elle se développa surtout aux lieux où se trouvaient déjà les manufactures de savon. Marseille posséda à la fois, quoique seulement pour peu de temps, le monopole de ces deux fabrications. La haine d'une population irritée d'avoir perdu sous Napoléon sa principale source de richesses, le commerce de

la soude, profita, par une rare réunion de circonstances, au gouvernement royal.

Pour fabriquer du carbonate de soude (car c'est à ce sel que dans le commerce l'on donne purement et simplement le nom de soude) avec le sel marin, on commence par transformer ce dernier en sel de Glauber ou, en d'autres termes, en sulfate de soude. Pour convertir ainsi en sulfate de soude cent livres de sel commun, il faut, en moyenne, quatre-vingts livres d'acide sulfurique concentré. Il est facile de voir que, sitôt que le sel marin fut tombé au plus bas prix possible, ce à quoi le gouvernement se prêta très-volontiers, ce fut le prix de l'acide sulfurique qui détermina celui de la soude.

La demande d'acide sulfurique augmenta alors d'une manière incroyable. En conséquence, de tous côtés les capitaux se portèrent vers une industrie qui donnait de magnifiques bénéfices. On étudia avec toute l'exactitude possible l'origine et la formation de l'acide sulfurique; et d'année en année, on découvrit des méthodes meilleures, plus simples, et plus économiques pour fabriquer cet acide. A chaque nouveau perfectionnement, on vit le prix de l'acide baisser, et sa consommation augmenter en proportion.

Actuellement on fabrique l'acide sulfurique dans des chambres de plomb qui sont tellement vastes qu'elles pourraient aisément contenir une maison ordinaire composée de deux étages. Quant aux procédés et aux appareils que l'on emploie dans cette fabrication, ils sont arrivés à ce point qu'il est presque impossible de les perfectionner davantage. Naguère les lames de plomb qui servent à construire les vastes

chambres dont nous venons de parler, devaient être soudées avec du plomb, attendu que l'acide sulfurique corrode l'étain et la soudure ordinaire (mélange de plomb et d'étain). Cette manière d'unir ensemble les feuilles de plomb était presque aussi dispendieuse que les lames métalliques elles-mêmes. Mais aujourd'hui que l'on se sert à cet effet du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène, un enfant peut unir les feuilles de plomb les unes avec les autres par la simple fusion de leurs bords.

Revenons au procédé. Suivant les indications de la théorie, avec cent livres de soufre on devrait obtenir trois cent six livres d'acide sulfurique ; mais on n'en obtient que trois cents. La perte n'est donc pas considérable, et ne vaut pas la peine qu'on s'en occupe.

Indépendamment du soufre, il est une autre substance qui exerçait jadis une grande influence sur le prix de revient de l'acide sulfurique. Cette substance qui est absolument indispensable à la fabrication de l'acide, n'est autre que le salpêtre. Il ne fallait, il est vrai, que cent livres de salpêtre pour mille livres de soufre ; mais malheureusement le salpêtre coûtait quatre fois plus qu'un égal poids de soufre. Aussi cet état de choses n'a pas duré longtemps.

Des voyageurs avaient remarqué, près du petit port d'Yquiqui, dans le district d'Atakama au Pérou, de puissants amas de sels. L'analyse chimique démontra qu'ils étaient principalement composés de nitrate de soude. Le commerce qui, avec ses bras de polype, enserre le globe tout entier et cherche partout de nouveaux aliments pour l'industrie, tira bien vite parti de cette découverte. On trouva là une

mine inépuisable de ce sel précieux : car il forme des couches qui couvrent une surface de plus de quarante milles allemands carrés. On en apporta en Europe des quantités considérables : le fret était de plus de moitié moins élevé que celui du salpêtre de l'Inde (nitrate de potasse). Or, comme dans la fabrication chimique de l'acide sulfurique on n'avait besoin ni de soude ni de potasse, mais seulement de l'acide nitrique qui se trouve combiné avec l'alcali, le nitrate de soude d'Amérique supplanta immédiatement le nitrate de potasse de l'Inde. Ce dernier se trouva complétement exclus du marché. La fabrication de l'acide sulfurique reçut une nouvelle impulsion par l'effet de cette découverte, et son prix diminua considérablement sans aucun dommage pour les fabricants. Depuis cette époque, à part les fluctuations causées pendant quelque temps par l'interdiction de l'exportation du soufre de la Sicile, le prix de l'acide sulfurique est resté à peu près stationnaire.

Il est actuellement aisé de s'expliquer pourquoi la demande du salpêtre (nitrate de potasse) a baissé aussi prodigieusement : c'est qu'à cette heure il n'est plus employé que dans la fabrication de la poudre à canon. Ainsi donc, si les gouvernements font une économie de plusieurs centaines de mille francs par an sur le prix de revient de la poudre à canon, c'est à la fabrication de l'acide sulfurique qu'ils en sont redevables, puisque les manufacturiers ne leur font plus concurrence pour le nitrate de potasse.

Pour se faire une idée de la quantité d'acide sulfurique qui se consomme, il suffit de savoir qu'une petite fabrique de cet acide en verse dans le commerce cinq cent mille livres

pesant, par année : une fabrique d'une certaine importance en produit deux millions. Enfin , il est des manufactures qui fabriquent annuellement jusqu'à six millions de livres d'acide sulfurique.

La fabrication de l'acide sulfurique vaut chaque année à la Sicile des sommes immenses. Elle a introduit l'industrie et le bien-être dans les districts incultes d'Atakama. Elle est encore une source de richesses pour la Russie en lui offrant un débouché pour son platine : car les cuves qui servent à la concentration de l'acide sulfurique sont en platine , et chaque cuve coûte de vingt-cinq à cinquante mille francs. Si notre verre devient chaque jour plus beau et cependant baisse de prix; si notre savon est devenu excellent, c'est qu'à cette heure on ne se sert plus de cendres mais de soude dans leur fabrication. Maintenant ces cendres sont employées à fertiliser nos champs et nos prairies dont elles forment l'engrais le plus utile et le plus précieux.

Il nous est impossible , dans le cadre que nous nous sommes tracé, de suivre dans toutes leurs ramifications cette merveilleuse série d'améliorations et de perfectionnements que les progrès d'une seule branche de la chimie appliquée ont provoqués dans une multitude d'industries différentes. Cependant je crois encore utile d'appeler l'attention du lecteur sur quelques-uns des plus immédiats et des plus importants résultats de la fabrication actuelle de l'acide sulfurique. Nous venons de dire que le sel marin (chlorure de soude) doit être transformé en sel de Glauber (sulfate de soude) avant de pouvoir servir à la fabrication de la soude du commerce. En traitant convenablement le sel commun par l'acide sulfu-

rique, on obtient du sulfate de soude. Dans cette première partie de l'opération, il se produit, par l'action de l'acide sulfurique, une quantité considérable d'acide chlorhydrique fumant qui égale depuis une et demie jusqu'à deux fois le poids de l'acide sulfurique employé, quantité énorme lorsqu'on la considère dans sa totalité. D'abord les bénéfices que donnait la fabrication de la soude étaient si considérables que l'on ne se donnait pas la peine de recueillir l'acide chlorhydrique : ce produit accessoire n'avait alors aucune valeur commerciale. Cependant cet état de choses changea bientôt, car on découvrit une multitude d'applications utiles de cet acide.

L'acide chlorhydrique est une combinaison de chlore et d'hydrogène. Aucun corps ne donne de chlore plus pur et à meilleur marché que l'acide chlorhydrique. L'application du chlore au blanchîment des étoffes était connu depuis fort longtemps, mais nulle part on ne l'avait encore employé sur une grande échelle. C'est seulement quand on eut songé à extraire le chlore de l'acide chlorhydrique, quand on eut découvert que, combiné avec la chaux, il pouvait se transporter sans inconvénient à des distances considérables, que l'on commença à l'appliquer au blanchîment des étoffes de coton. On vit alors l'industrie cotonnière prendre un développement prodigieux. Sans ce nouveau procédé de blanchîment à l'hypochlorite de chaux, il aurait été impossible aux manufactures de coton de la Grande-Bretagne de s'accroître d'une façon si extraordinaire et d'arriver au point où nous les voyons aujourd'hui. L'Angleterre n'aurait pu soutenir longtemps la concurrence de l'Allemagne et de la France, à cause de l'immense étendue de terrain que nécessitait l'ancien pro-

cédé. En effet, dans l'ancien système, il fallait avant tout un vaste champ ou une prairie convenablement située. Chaque pièce d'étoffe devait être exposée pendant plusieurs semaines à l'air et à la lumière. Des ouvriers étaient constamment occupés à entretenir ces étoffes dans un état d'humidité convenable. Ces opérations ne pouvaient donc se faire que pendant l'été. Maintenant un seul établissement, celui de Walter-Crums dans le voisinage de Glasgow, établissement qui pourtant n'est pas très-considérable, blanchit chaque jour quatorze cents pièces de coton, et cela pendant toute la durée de l'année. Je laisse à juger de l'étendue de terrain qui serait nécessaire à cet établissement pour blanchir, par l'ancien procédé, la prodigieuse quantité de pièces qu'il livre chaque année aux fabricants. Quelles sommes coûterait l'achat de ce terrain dans le voisinage d'une ville riche et populeuse ! Les intérêts seuls de ce capital seraient si élevés qu'ils feraient énormément hausser le prix des étoffes, tandis que cette influence serait beaucoup moins sensible en Allemagne qu'en Angleterre.

A l'aide de l'hypochlorite de chaux, on blanchit les cotonnades en peu d'heures et à fort peu de frais. Indépendamment de cet avantage, les pièces d'étoffes souffrent beaucoup moins entre les mains d'ouvriers habiles et intelligents que par le blanchîment dans les prairies. Déjà même aujourd'hui, en Allemagne, les paysans de quelques localités ont adopté le blanchîment par le chlore et ils y trouvent leur avantage.

Parmi les nombreuses applications que l'on a faites de l'acide chlorhydrique, grâce à la vileté de son prix, nous en

citerons une qui paraîtra une industrie assez singulière : c'est la fabrication de la colle que l'on retire des os. Les os sont composés d'une base terreuse (phosphate de chaux) et de gélatine : ils contiennent en moyenne 30 à 36 p. 100 de cette dernière substance. Comme la matière calcaire des os se dissout aisément dans l'acide chlorhydrique affaibli et que cet acide n'attaque pas sensiblement la gélatine, on fait macérer les os dans de l'acide chlorhydrique dilué, jusqu'à ce qu'ils soient devenus transparents et flexibles comme le cuir le plus souple. Alors on a des morceaux de gélatine qui ont exactement la forme des os dont ils formaient la trame organique. On retire ces morceaux, on les lave avec soin pour les débarrasser de l'acide qui peut encore y adhérer, et on les fait dissoudre dans de l'eau chaude. On obtient ainsi, sans autre manipulation, de la colle bonne pour tous les usages possibles.

Nous serions coupables de passer ici sous silence une des applications les plus importantes de l'acide sulfurique. Nous voulons parler de l'affinage de l'argent, et de la séparation de l'or dont il existe toujours quelques parcelles dans l'argent natif. On donne le nom d'affinage de l'argent aux opérations au moyen desquelles on purifie ce métal précieux, en lui enlevant le cuivre qu'il contient. L'argent que l'on extrait des mines contient pour un poids de 16 onces, 6 à 8 onces de cuivre. Notre monnaie et nos bijoux d'argent contiennent 12 à 13 onces de fin pour 16 onces de poids total [1]. Dans les ateliers monétaires cet alliage s'opère arti-

[1] En France, les monnaies d'or ainsi que celles d'argent, contiennent un dixième d'alliage et neuf dixièmes de métal pur. Les bijoux contiennent

ficiellement en mêlant une proportion déterminée de cuivre avec de l'argent parfaitement pur. Ainsi donc, pour que l'alliage puisse se faire en proportions exactes, il est nécessaire d'épurer l'argent brut, c'est-à-dire de l'affiner. Anciennement le procédé employé consistait à le traiter par le plomb; mais les frais de cette opération étaient nécessairement fort élevés, car il en coûtait à peu près 43 francs pour 50 livres pesant d'argent. D'ailleurs l'argent affiné de cette manière renfermait encore de $^1/_{2000}$ à $^1/_{1200}$ d'or, et la séparation de cette faible portion d'or au moyen de l'acide nitrique ne compensait pas les frais de l'opération. Par conséquent cet or circulait dans nos monnaies et nos objets d'orfévrerie, et c'était une valeur tout à fait perdue. On ne tirait non plus aucun parti du cuivre extrait de l'argent brut. Mais aujourd'hui tout cela a changé d'une façon surprenante. En effet, le millième d'or que contient l'argent, fait un peu plus d'un et demi pour cent de la valeur de l'argent, ce qui non seulement couvre les frais de l'affineur, mais encore lui donne un fort joli bénéfice. Aussi observons-nous ce fait singulier au premier abord, que l'affineur auquel nous remettons de l'argent brut nous le rend parfaitement pur et même nous rend encore le cuivre, sans nous demander aucun salaire pour son travail. Cependant il n'a soustrait aucune portion de l'argent que nous lui avons confié; il a tout simplement gardé pour rémunération la faible quantité d'or qu'il a trouvée dans l'argent.

L'affinage de l'argent par la méthode actuellement usitée

un cinquième d'alliage. Dans la vaisselle, au contraire, il n'entre qu'un vingtième de cuivre. (*Note du trad.*)

est une des plus belles opérations chimiques que l'on puisse voir. On fait bouillir le métal granulé dans de l'acide sulfurique concentré ; l'argent et le cuivre se dissolvent dans cet acide, pendant que tout l'or qui s'y trouvait se précipite au fond presque à l'état de pureté et sous la forme d'une poudre noirâtre. La dissolution contient donc du sulfate d'argent et de cuivre. On la place alors dans des auges de plomb où on la laisse en contact avec du vieux cuivre. La conséquence de cette opération, c'est que, tandis qu'une certaine portion du cuivre métallique se dissout, l'argent se sépare et se précipite dans un état de pureté parfaite. On a donc, à la fin de l'opération, de l'argent métallique affiné et du sulfate de cuivre. Or, ce dernier produit a une valeur commerciale assez considérable ; car il sert à la fabrication des couleurs vertes et bleues.

Ce serait dépasser les limites d'une simple esquisse que de vouloir suivre jusque dans leurs dernières ramifications toutes les applications que l'industrie a faites de l'acide sulfurique, de l'acide chlorhydrique et de la soude. Sans les perfectionnements extraordinaires qu'a éprouvés la fabrication de l'acide sulfurique, nous n'aurions ni ces belles bougies stéariques qui ont supplanté le suif et la cire, ni ces allumettes phosphoriques qui s'enflamment par la simple percussion et qui se vendent à si bas prix. Il y a vingt-cinq ans, tout le monde eût déclaré qu'il serait toujours impossible de livrer l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique, la soude et le phosphore, aux prix auxquels on les vend aujourd'hui. Maintenant quel homme pourrait prévoir les applications nouvelles que fera l'industrie

chimique dans le courant des vingt-cinq années qui vont suivre?

D'après ce que nous venons de dire, on voit qu'il n'y a nulle exagération dans l'assertion que nous avons avancée, à savoir, que l'industrie chimique d'un pays peut s'apprécier d'une manière fort exacte par le nombre de livres d'acide sulfurique qu'il consomme. Sous ce point de vue, il n'est pas de fabrication qui mérite davantage de fixer l'attention des gouvernements. On ne trouvera rien d'étonnant à ce que l'Angleterre se soit décidée à menacer Naples de la guerre, lors de la question du monopole des soufres de Sicile, si l'on réfléchit à l'influence que l'élévation du prix du soufre aurait exercée sur celui des cotonnades blanches et imprimées, du savon et du verre ; si l'on fait attention que l'Angleterre fournit de savon et de verre une grande partie de l'Amérique, de l'Espagne et du Portugal, l'Orient et les Indes; qu'en échange elle reçoit de ces pays du coton, de la soie, du vin, des raisins, du raisin de Corinthe et de l'indigo, et que enfin le siége du gouvernement, Londres, est le principal entrepôt du commerce de vin et de soie que fait la Grande-Bretagne. Il n'y avait donc rien que de très naturel à ce que le gouvernement anglais s'inquiétât du monopole établi par le roi de Naples sur le soufre, et fît tous les efforts possibles pour arriver à sa suppression.

Au reste, il était temps pour la Sicile qu'un état de choses si contraire à ses véritables intérêts eût bientôt une fin. En effet, si le monopole eût duré quelques années de plus, il est extrêmement probable que ce pays aurait vu tarir la source principale de ses richesses : son soufre serait resté

sans valeur entre les mains du gouvernement napolitain. La science et l'industrie constituent aujourd'hui une puissance qui ne connaît plus d'obstacles et à laquelle rien ne peut résister. Une observation attentive pouvait alors aisément déterminer l'époque où l'exportation des soufres de la Sicile aurait nécessairement cessé. Pendant le court espace de temps que dura le monopole du soufre, il fut pris en Angleterre quinze brevets d'invention dont les auteurs se proposaient d'employer de nouveau le soufre qui avait déjà servi à la conversion de la soude, et pour cela de le transformer de nouveau en acide sulfurique. Avant que la question du monopole des soufres eût été soulevée, personne n'avait songé à une pareille opération. Les divers essais de ces quinze inventeurs n'auraient certainement pas tardé à se perfectionner, et les esprits les plus prévenus doivent comprendre quelle réaction eût alors éprouvée le commerce du soufre de la Sicile. En effet, nous possédons des montagnes d'acide sulfurique dans le plâtre (sulfate de chaux) et dans le spath pesant (sulfate de baryte). La galène (sulfure de plomb natif) et les pyrites de fer (sulfures de fer natif) nous offrent également des masses de soufre inépuisables. Or, lorsque le prix du soufre est venu à hausser, on a senti l'avantage qu'il y aurait à extraire, pour les besoins du commerce, les énormes quantités de soufre que contiennent ces produits naturels. On se proposait donc alors de découvrir les procédés les plus économiques pour approprier ces substances à la fabrication de l'acide sulfurique. Déjà, quand le prix du soufre était fort élevé, on a réussi à extraire des pyrites de fer des milliers de quintaux d'acide sulfurique, et l'on serait parvenu

à extraire l'acide sulfurique que renferme le plâtre : sans doute il eût fallu vaincre de nombreuses difficultés, mais la science et l'industrie en seraient venues à bout. A cette heure, l'impulsion est donnée, et la possibilité du succès est démontrée. Qui peut prévoir les conséquences fâcheuses que, dans quelques années, aura produites pour le royaume des Deux-Siciles la fausse spéculation financière de son gouvernement? Il lui arrivera sans doute ce qui est arrivé à la Russie, qui, par suite du système prohibitif qu'elle a adopté, a vu énormément diminuer ses exportations de suif et de potasse. Ce n'est qu'à la dernière extrémité qu'un peuple achète quelque chose à un autre peuple qui lui ferme son marché. L'Angleterre tirait de la Russie du suif et de l'huile de lin par centaines de milliers de quintaux : maintenant elle les a remplacés par des quantités égales d'huile de palme et de noix de coco. De même les coalitions formées par les ouvriers contre les fabricants dans le but de faire augmenter leurs salaires, nuisent constamment aux premiers, en provoquant la construction de machines merveilleuses qui rendent leurs bras inutiles. Ainsi, comme on le voit, dans le commerce et dans l'industrie, toute imprudence porte avec elle sa propre peine : tout acte d'oppression, tout système prohibitif réagit immédiatement d'une manière sensible sur le peuple qui a cru de cette façon améliorer ses affaires.



LETTRE X.

Connexion intime qui existe entre la théorie et la pratique. — Emploi du magnétisme comme force motrice. — Comparaison du charbon et du zinc comme sources de force motrice.— La fabrication du sucre de betterave est impolitique. — Éclairage au gaz.

Je regarde comme un grand bonheur pour l'humanité que toute idée nouvelle, qui a pour but la création d'une machine utile, le perfectionnement d'une industrie, la production de nouveaux articles de commerce, rencontre immédiatement des hommes prêts à consacrer toute leur puissance, leur fortune et leurs talents à la réaliser. Je crois que l'on partagera ma manière de voir. Car alors même que cette idée se trouve en définitive absurde et inexécutable, il sort toujours de ces tentatives infructueuses quelques résultats avantageux, quelque découverte inattendue dont il sera plus tard possible de tirer parti. Il en est donc de l'industrie comme de la science. Toute théorie nécessite des travaux et des expériences, parce qu'il faut la vérifier. Or toutes les fois que l'on se livre à des recherches, on arrive à quelque découverte. On fait des fouilles dans l'espérance de rencontrer du charbon, et on découvre des couches de sel : on

cherche du fer, et on trouve un métal beaucoup plus précieux.

Depuis quelque temps, l'électro-magnétisme attire singulièrement l'attention du public : on en attend des merveilles. Ainsi cette force motrice nouvelle doit servir à mettre en mouvement les locomotives sur nos chemins de fer à si peu de frais qu'il ne vaudra pas la peine de s'en occuper. Par suite de l'emploi de ce moteur si économique, l'Angleterre se verra dépouillée de sa suprématie comme puissance manufacturière, parce que ses mines de charbon, auxquelles elle doit sa supériorité sous ce rapport, deviendront absolument inutiles. Nous avons, disent les Allemands, du zinc en quantité et à vil prix. Combien d'ailleurs il faudra peu de ce métal pour mettre en mouvement un tour, et par conséquent une machine quelconque! Tout cela est fort attrayant, et fort séduisant nous l'avouons : et il faut bien que les espérances conçues à ce propos aient été tout à fait merveilleuses, car sans cela personne ne s'en serait occupé. Mais malheureusement ces espérances sont presque complétement illusoires, et il suffit, pour les détruire, de se donner la peine de comparer entre elles la puissance de ces agents moteurs et les frais qu'ils doivent coûter. Avec la simple flamme d'une lampe à esprit de vin placée sous un vaisseau de forme convenable et rempli d'eau bouillante, on peut mettre en mouvement un petit chariot pesant deux à trois cents livres, ou bien soulever un poids de quatre-vingts à cent livres à une hauteur de vingt pieds. On peut obtenir les mêmes effets en se servant d'un morceau de zinc que l'on place dans un appareil particulier contenant de l'acide sul-

furique affaibli où le métal se dissout graduellement. Ceci constitue évidemment une découverte admirable et digne du plus haut intérêt. Mais la question n'est pas là : il s'agit uniquement de savoir lequel de ces deux agents moteurs est le plus économique.

Pour comprendre cette question et sa signification exacte, il faut d'abord se rappeler ce que les chimistes entendent par équivalents. Ce sont certains rapports invariables d'effets qui sont proportionnés entre eux et qui par conséquent peuvent s'exprimer par des nombres. Ainsi par exemple, si nous avons besoin de huit livres d'oxygène pour produire un certain effet, et que nous préférions, au lieu d'oxygène, nous servir de chlore pour obtenir le même effet, nous savons qu'il nous faudra trente-cinq livres et demie de chlore, ni plus ni moins. De même six livres de carbone sont un équivalent de trente-deux livres de zinc. Les nombres qui représentent les équivalents chimiques, expriment les rapports généraux d'effets qui comprennent toutes les actions que les corps sont capables de produire. Lorsque nous prenons du zinc déjà uni d'une certaine manière à un autre métal, et que nous le mettons en contact avec de l'acide sulfurique étendu, il se dissout sous forme d'oxyde de zinc : il y a combustion du zinc aux dépens de l'oxygène que lui cède le liquide. Cette action chimique a pour résultat la formation d'un courant électrique qui, si on le conduit au moyen d'un fil, fait passer ce fil à l'état magnétique.

Ainsi donc, en faisant dissoudre une livre de zinc comme je viens de le dire, nous obtenons une certaine quantité de force capable, par exemple, de soulever à un pouce de

hauteur un poids donné de fer, et de le tenir suspendu. Plus le zinc se dissoudra rapidement, plus le poids qu'il soulèvera et tiendra suspendu pourra être considérable. En interrompant et en rétablissant alternativement le contact du zinc avec le liquide acide, nous avons la faculté d'imprimer à la pièce de fer, sur laquelle agit la force motrice, un mouvement de va et vient vertical ou horizontal : par conséquent, nous possédons là un agent capable de faire mouvoir une machine quelconque.

Jamais une force ne naît de rien. Dans l'exemple que nous venons de citer, nous savons que la puissance motrice est produite par la dissolution (par l'oxydation) du zinc. Mais si nous faisons abstraction du nom que l'on donne à la force motrice qui se développe dans ce cas-ci, nous savons que nous pouvons également la produire au moyen d'un appareil tout différent. Ainsi, lorsque nous faisons brûler du zinc sous la chaudière d'une machine à vapeur, c'est-à-dire dans l'oxygène de l'air au lieu de l'oxygène de la pile galvanique, nous produisons de la vapeur d'eau, et, par le moyen de cette vapeur, une certaine quantité de force motrice. Si maintenant nous admettons (ce qui du reste n'est nullement prouvé), que la quantité de force obtenue soit inégale dans les deux cas de combustion du zinc, c'est-à-dire que nous obtenions deux ou trois fois plus de force, ou bien, si l'on veut, que la déperdition de force soit beaucoup moins considérable quand nous employons la pile galvanique, nous ne devons pas perdre de vue que le zinc peut être représenté par certains équivalents de charbon; et nous devons les prendre pour éléments de notre calcul. D'après les expériences de

Despretz, six livres de zinc, en se combinant avec l'oxygène, ne développent pas plus de chaleur que la combustion d'une seule livre de charbon : par conséquent, toutes choses étant égales d'ailleurs, une livre de charbon produira six fois plus de force motrice qu'une livre de zinc. Il est évident qu'en supposant la perte de force égale de chaque côté, il serait beaucoup plus avantageux de se servir de charbon au lieu de zinc, alors même que ce métal brûlé dans la pile galvanique produirait quatre fois autant de chaleur qu'un poids égal de charbon brûlant sous la chaudière d'une machine à vapeur. En un mot, il est extrêmement probable que, si nous brûlions sous la chaudière d'une machine à vapeur la quantité de charbon nécessaire pour fondre du minerai de zinc, nous obtiendrions une somme de force de beaucoup supérieure à celle que pourrait produire le zinc, sous quelque forme et dans quelque appareil que ce métal fût employé.

Il existe entre la chaleur, l'électricité et le magnétisme un rapport analogue à celui que l'on observe entre les équivalents chimiques du charbon, du zinc et de l'oxygène. Avec une quantité donnée d'électricité, nous produisons une proportion correspondante de chaleur ou de force magnétique : la chaleur et la force obtenues sont réciproquement équivalentes. Je me procure cette quantité déterminée d'électricité au moyen de l'affinité chimique qui, sous une forme, me donne de la chaleur, et, sous une autre, de l'électricité ou du magnétisme. Avec une certaine somme d'affinité, nous produisons un équivalent d'électricité ; de même, en sens inverse, avec une somme déterminée d'électricité, nous décomposons des équivalents de combinaisons chimiques. Ainsi

donc la dépense de force magnétique correspond rigoureusement à la dépense d'affinité chimique. Dans la pile, c'est l'affinité chimique du zinc et de l'acide sulfurique qui produit la force motrice; dans la machine à vapeur, c'est l'affinité du charbon et de l'oxygène du courant d'air.

Il est vrai qu'avec une très-faible dépense de zinc, l'on peut convertir une barre de fer en un aimant assez fort pour soutenir une masse de fer pesant un millier de livres. Mais il ne faut pas nous laisser abuser par ces apparences illusoires. En effet, même avec l'aide de cet aimant, nous sommes incapables d'élever à deux pouces de hauteur une seule livre de fer, et par conséquent nous ne pouvons lui communiquer le moindre mouvement. L'aimant agit comme un rocher qui reste immobile, et qui presse sur une base avec un poids de 1000 livres; c'est un lac clos de toutes parts, sans issue et sans chute. Mais, pourra-t-on m'objecter, l'on a su lui créer un écoulement et une chute; cela est vrai, et je regarde ce succès comme un grand triomphe de la mécanique. On arrivera même, je l'espère, à lui donner plus de chute et plus de force qu'il n'en possède actuellement; mais cependant il n'en demeure pas moins certain que, même en laissant de côté la machine à vapeur, la plus faible de nos machines lui est supérieure, et qu'au point de vue de la génération de la force motrice, une seule livre de charbon brûlée sous la chaudière de la machine à vapeur mettra en mouvement une masse plusieurs centaines de fois plus pesante que celle que peut mouvoir une livre de zinc brûlé dans la pile galvanique [1].

[1] D'après une note insérée dans le supplément de l'*Allgemeine Zeitung*,

Toutefois, nos expériences au sujet de l'emploi de l'électro-magnétisme comme force motrice, sont encore trop récentes pour que nous puissions prévoir les résultats des recherches qui se feront dans cette direction. Que les hommes de science qui se sont proposé la solution de ce problème, ne se laissent pas décourager ; car si l'on arrivait à écarter tous les dangers qu'entraînent avec elles les machines à vapeur, les frais dussent-ils s'élever au double, ce serait déjà, à mon avis, un très-grand bénéfice. Il y aurait peut-être encore une autre manière d'utiliser le magnétisme sur nos chemins de fer, et d'appliquer cette force à rendre leur établissement moins dispendieux. Si l'on pouvait découvrir un appareil au moyen duquel on pût à volonté transformer les roues des locomotives en aimants doués d'une grande puissance, il serait alors facile de gravir des pentes assez fortes. Cette idée a été mise en avant par le professeur Weber de Gottingue : elle portera ses fruits.

Quant à la pile galvanique considérée comme agent moteur, il en sera peut-être dans quelque temps, comme de la fabrication du sucre indigène par rapport au sucre de canne et de l'éclairage au gaz extrait de l'huile par rapport au gaz que l'on tire du charbon de terre.

n° 214, Jacobi a construit en 1838-1839 une machine qui pouvait mettre en mouvement une chaloupe portant douze hommes. Suivant l'estimation que l'on en a faite, l'effet de cette machine représentait un poids de 600 pouds de Russie, soit 12000 kilogrammes, qui aurait été élevé à un pied de hauteur en une minute. Mais il est impossible de comparer cet effet, quelque curieux qu'il paraisse, à celui que produit la plus petite machine à vapeur ; car celui de la machine de Jacobi n'égale que les quatre cinquièmes d'une force de cheval. Il ne faut qu'une seconde, à une force de cheval, pour élever un poids de 250 kilogrammes à un pied de hauteur.

L'industrie, dans la fabrication du sucre de betterave, a atteint les dernières limites du possible. Au lieu d'un sucre visqueux, ayant une odeur de betterave, on fabrique aujourd'hui du sucre raffiné de toute beauté. Au lieu de la proportion de sucre qu'obtenait Achard, c'est-à-dire 3 à 4 pour 0/0, la quantité de sucre que l'on obtient maintenant est deux et même trois fois plus considérable. Cependant, malgré la perfection à laquelle est parvenue cette industrie, il est possible qu'elle ne se maintienne pas longtemps. En effet, dans les années 1824 à 1827, les conditions de la fabrication étaient tout autres. Alors le prix du malter de froment [1] ne dépassait pas 13 francs, et le klafter de bois [2] coûtait au plus 21 à 22 francs. Les fonds de terre étaient en baisse : en même temps le prix du sucre n'était pas plus bas qu'aujourd'hui. Aussi, à cette époque, il y avait avantage à semer des betteraves et à vendre du sucre au lieu de blé. On avait les betteraves à bon marché, le combustible à bon marché, et la demande du sucre était illimitée. Mais depuis ce temps-là, combien ces conditions favorables ont changé. Actuellement le malter de froment coûte 21 à 22 francs, et le prix du klafter de bois varie de 39 à 43 francs. Le salaire des ouvriers a haussé avec ces prix, quoi qu'il n'ait pas suivi une progression aussi rapide. D'autre part, le prix du sucre exotique, loin de s'élever, a au contraire baissé. Dans

[1] Le malter de Hesse-Darmstadt vaut cent vingt-huit litres. Sa valeur varie dans d'autres parties de l'Allemagne : à Nuremberg, par exemple, elle égale trois cent dix-huit litres. (*Note du trad.*)

[2] Le klafter, dans le Grand-Duché de Hesse-Darmstadt, égale 144 pieds cubes. (*Note du trad.*)

les pays qui font partie du Zollverein, c'est-à-dire qui sont entrés dans l'union douanière allemande, à Francfort-sur-le-Mein par exemple, la livre du plus beau sucre blanc en pain se paie à peu près 75 centimes. Si de ce prix nous déduisons 40 centimes environ pour droits de douane (43 francs par quintal), nous trouvons que le sucre raffiné ne coûte réellement que 35 centimes. En 1827, pour un malter de blé, on avait 40 livres de sucre brut à 30 centimes la livre, et maintenant, pour la même mesure de blé, on a 70 livres de sucre brut. Si le combustible était encore aujourd'hui au même prix qu'à cette époque, il faudrait, pour fabriquer avec un égal bénéfice, que l'on réussît à extraire 70 livres de sucre de la même quantité de betteraves qui n'en donnait que 40 en 1827. Mais alors le maximum de rendement de la betterave était 5 pour 0/0, et à cette heure il ne dépasse pas 6 à 7 : d'autre part, le prix du bois a considérablement augmenté. Toutes les améliorations, tous les perfectionnements que l'on a apportés aux sucreries indigènes ne couvrent pas ces pertes, et, comme les proportions sont égales, il est beaucoup plus avantageux de récolter du blé et d'acheter du sucre.

Tant que la fabrication du sucre de betterave n'a été qu'une branche de l'industrie agricole, elle a pu soutenir la concurrence avec le sucre des colonies. Les feuilles, le résidu des betteraves, servaient à nourrir les bestiaux, et leur valeur augmentait naturellement avec le prix des céréales: mais la fabrication du sucre indigène, considérée comme objet de spéculation commerciale, doit nécessairement périr. En suivant l'ancien procédé, cent livres de bette-

raves rendaient soixante et quinze livres de jus, lesquelles produisaient cinq livres de sucre. Dans la méthode de Schützenbach, méthode que tous les fabricants de sucre indigène ont adoptée avec tant d'empressement, il faut, à l'aide du feu, faire évaporer tout le jus que contiennent les betteraves; puis on traite de nouveau par l'eau tout le résidu sec, afin de l'épuiser complétement; enfin on fait évaporer cette eau. Ces deux évaporations complètes exigent une grande quantité de combustible, et le résidu définitif est tout-à-fait impropre à la nutrition des bestiaux: c'est tout au plus s'il peut servir d'engrais. Maintenant, établissons un petit calcul. Par l'ancien procédé, cent livres de betteraves donnaient soixante-quinze livres de jus, lesquelles rendaient cinq livres de sucre. Avec le procédé de Schützenbach, cent livres de betteraves en donnent huit de sucre. Mais, pour dessécher la betterave, il faut, en moyenne, évaporer quatre-vingt-six livres d'eau. Après cela, on verse vingt livres d'eau sur le résidu sec afin de l'épuiser; une nouvelle évaporation est donc nécessaire. Ainsi, cent six livres de liquide (quatre-vingt-six, plus vingt) rendent huit livres de sucre; ce qui fait un peu plus de cinq livres et quart de sucre pour soixante-dix livres de liquide qu'il a fallu faire évaporer. Par conséquent on obtient aujourd'hui d'un même poids de betteraves trois livres de sucre de plus qu'auparavant. C'est donc à ces trois livres à couvrir tous les frais extraordinaires qu'exige le nouveau mode de fabrication. En outre, elles doivent compenser la perte du résidu, qui avait une certaine valeur et qui maintenant n'en a plus. Ces trois livres reviennent en définitive si cher, qu'il vaudrait mieux acheter tout simplement de nou-

velles betteraves que d'épuiser complétement les résidus à grand renfort de combustible.

Aujourd'hui ce ne sont plus les métaux précieux qui constituent la richesse des nations. Si la vallée du Rhin possédait des mines de diamants aussi riches que celles de Visapour, de Golconde et du Brésil, il est probable qu'elles ne vaudraient pas la peine d'être exploitées. En effet, dans les contrées que nous venons de citer, le prix brut de l'extraction du diamant ne s'élève, en moyenne, qu'à 37 ou 39 fr. par carat. Chez nous il s'élèverait au triple ou au quadruple, c'est-à-dire à un prix supérieur à celui du marché. Le sable du Rhin renferme des parcelles d'or, et, dans le Grand-Duché de Bade, lorsque les salaires sont très-bas, on voit un certain nombre de malheureux s'occuper à laver les sables du fleuve pour en retirer le peu d'or qu'ils charrient; mais dès que les salaires s'élèvent, cette espèce d'industrie n'offre pas une rémunération suffisante et se trouve abandonnée aussitôt. On peut en dire autant de l'industrie sucrière. Il y a douze ou quatorze ans, la fabrication du sucre indigène offrait des avantages qui n'existent plus maintenant. En conséquence, au lieu de faire d'énormes sacrifices pour la soutenir, il serait beaucoup plus raisonnable et plus conforme aux principes de l'économie politique, d'abandonner la betterave pour obtenir du sol d'autres produits plus avantageux, en échange desquels on se procurerait le sucre à plus bas prix. Non-seulement l'état y bénéficierait, mais encore chaque citoyen y trouverait son compte. Ce que nous venons de dire ne s'applique pas à la France et à la Bohême; car, dans ces deux pays, le rapport qui existe entre le prix du sucre exo-

tique et celui du combustible, est tout autre qu'en Allemagne.

Les observations critiques que nous venons de présenter au sujet de l'industrie sucrière en Allemagne, s'appliquent également à la fabrication du gaz pour l'éclairage, qui s'extrait de la houille, des résines et des huiles. En Angleterre, le prix des matériaux qui servent à fabriquer ce gaz est en rapport direct avec le prix du blé. Le suif et l'huile représentent simplement sous d'autres formes la nourriture des bestiaux et les revenus du sol. En Angleterre, le suif et l'huile sont deux fois plus chers qu'en Allemagne, tandis que le fer et la houille sont de deux tiers meilleur marché. Cependant, en Angleterre même, la fabrication du gaz ne donne de bénéfice qu'autant que l'on peut se défaire du coke ou charbon qui a servi à la distillation du gaz.

Si quelqu'un parvenait à condenser le gaz de l'éclairage que l'on extrait de la houille, et à le réduire en un corps blanc, solide, sec, inodore, susceptible d'être placé sur un flambeau et transporté d'un lieu à un autre, on regarderait sans doute cette invention comme une des plus merveilleuses découvertes de notre siècle; ce serait également une admirable invention, si seulement on réussissait à convertir ce gaz en huile fluide, incolore et inodore, que l'on pût brûler dans les lampes. Or, la cire, le suif et l'huile sont en réalité des gaz combustibles, sous forme solide ou liquide, et, grâce à cet état, ils possèdent une multitude d'avantages que l'on ne trouve pas dans le gaz de l'éclairage. Quand on brûle ces substances dans des lampes bien construites, elles fournissent autant de lumière que le gaz, et leur emploi est plus

économique, car il n'exige pas les appareils coûteux que nécessite la combustion du gaz. Dans certains cas, par exemple, pour l'éclairage d'une grande ville, d'un vaste hôtel garni, où les domestiques volent l'huile et la bougie, et où il faut, en outre, tenir compte des frais de nettoyage et d'entretien des lampes, l'on peut préférer le gaz, parce que le prix plus élevé de ce dernier se trouve compensé par les économies que l'on réalise d'autre part. D'ailleurs, dans ces cas même, c'est la vente du coke qui constitue la plus grande partie du bénéfice; lorsqu'on ne peut pas s'en défaire, on doit s'attendre à des pertes. Dans les localités où, comme à Francfort-sur-le-Mein, l'on fabrique le gaz avec la résine, l'essence de térébenthine, et d'autres huiles à vil prix, ce mode d'éclairage ne pourra offrir quelque avantage qu'autant qu'il ne sera pas réalisé sur une grande échelle. En effet, si on l'employait dans de grandes villes, la conséquence immédiate de cette extension serait la hausse du prix des matières premières. Ainsi, par exemple, toute l'essence de térébenthine qui se verse dans le commerce, suffirait à peine pour deux villes telles que Berlin et Munich. Du reste, on ne peut prendre pour base de calculs exacts les prix actuels de ces substances, dont l'extraction ne saurait jamais être un objet d'industrie. Pour la Hesse-Électorale, l'éclairage au gaz extrait de la houille s'offre sous les auspices les plus avantageux à cause de l'excellent charbon de Schmalkalde qu'elle possède : or c'est précisément dans ce pays que ce mode d'éclairage est inconnu. Au lieu de convertir le charbon en coke dans le voisinage des mines, comme on le fait encore à cette heure, et de laisser perdre

ainsi le gaz éclairant, il serait incontestablement plus avantageux de porter à Cassel le charbon non encore dépouillé de son gaz, de le convertir en coke dans des vaisseaux clos à Cassel même, et d'utiliser pour l'éclairage de la ville le gaz qui se trouve totalement perdu.



LETTRE XI.

Isomérie ou identité de composition dans des corps doués de propriétés chimiques et physiques différentes. — Cristallisation. — Amorphisme. — Isomorphisme ou identité de forme dans les corps de composition tout à fait différente.

De tout temps l'on a regardé la forme et l'état sous lesquels les corps nous apparaissent, leur couleur, leur transparence, leur dureté, etc., en un mot, leurs propriétés physiques, comme dépendant uniquement de la nature de leurs éléments ou de leur composition. Il y a peu d'années encore, on n'osait pas croire qu'un seul et même corps pût s'offrir à nous sous deux états différents, et l'on admettait presque comme un principe absolu que deux corps devaient nécessairement posséder les mêmes propriétés, quand ces deux corps contenaient les mêmes éléments combinés dans les mêmes proportions. Comment aurait-il pu en être autrement, lorsque, sur l'autorité des philosophes les plus ingénieux, on admettait, en général, que dans toute combinaison chimique il y a pénétration réciproque des éléments, et que la matière est divisible à l'infini. Nous avons déjà prouvé combien cette erreur était grossière. En effet, si la matière était réellement composée de molécules infiniment petites,

elle serait impondérable. Ces molécules auraient beau se trouver agglomérées par milliards, la masse qu'elles formeraient ne pèserait pas plus qu'une seule molécule infiniment petite ; elle n'aurait aucun poids. Les molécules même de cette substance impondérable qui, en venant frapper notre rétine, nous procurent la sensation de lumière, ne sont pas, mathématiquement parlant, infiniment petites. Dans l'hypothèse de la pénétration réciproque des éléments qui s'unissent pour former une combinaison chimique, on admet que les molécules A et B occupent simultanément la même place dans l'espace. Or, s'il en était ainsi, il serait impossible que deux corps de composition identique possédassent des propriétés différentes.

Cette hypothèse a partagé le sort de toutes les rêveries émises par nos prédécesseurs dans le but d'expliquer les phénomènes de la nature, et personne aujourd'hi ne songe à la défendre. C'est que les vérités, qui sont uniquement fondées sur l'observation, possèdent une puissance à laquelle rien ne résiste. On a découvert, dans le règne organique, un très-grand nombre de substances qui sont composées des mêmes éléments dans les mêmes proportions, et qui, malgré cela, nous présentent des propriétés physiques et chimiques tout à fait différentes. On a donné à ces corps le nom d'isomériques (de ισος égal, et μερος, partie). Ainsi, par exemple, les substances qui forment la grande classe des huiles volatiles, telles que l'essence de térébenthine, l'huile de copahu, les huiles essentielles de citron, de romarin, de baies de genièvre, etc., qui toutes diffèrent les unes des autres par leur odeur, leurs propriétés médicales, leur point d'ébullition, etc.,

nous présentent une composition identique. Elles contiennent les mêmes éléments, carbone et hydrogène, dans les mêmes proportions.

Considérée de ce point de vue, la nature organique nous paraît d'une merveilleuse simplicité. Avec deux poids égaux de deux éléments toujours les mêmes, elle donne naissance à une variété extraordinaire de combinaisons possédant toutes des propriétés différentes. On a découvert plus d'une douzaine de corps qui ont la même composition que le gaz qui brûle dans la flamme de nos lumières, et qui tous diffèrent extrêmement les uns des autres sous le rapport de leurs propriétés. Je citerai, entre autres, l'une des substances qui entrent dans la composition de l'huile de rose, et qui forme, à la température ordinaire, des cristaux solides et volatils.

Ces résultats, si remarquables et si importants par leurs conséquences, n'ont pas été admis comme vérités sans démonstration suffisante. Depuis longtemps on possédait quelques exemples de corps différents par leurs propriétés, quoique identiques par leur composition ; mais ces observations étaient isolées et dispersées çà et là dans le vaste domaine de la science. Enfin, on découvrit des corps doués de propriétés tout à fait différentes, et dont l'identité absolue de composition pouvait se démontrer par un procédé beaucoup plus évident et convaincant que celui de la simple analyse, c'est-à-dire que l'on découvrit des corps susceptibles de se transformer, à l'ordre du chimiste, les uns dans les autres, et de reprendre leur premier état.

Nous possédons trois corps de ce genre dans l'acide cyanurique, l'acide cyanique hydraté et le cyamélide. L'acide

cyanurique est cristallisé, soluble dans l'eau, et susceptible de former des sels avec les oxydes métalliques. L'acide cyanique hydraté est un liquide volatil, extrêmement caustique, qui se décompose instantanément dès qu'on le met en contact avec de l'eau. Le cyamélide est une substance blanche, semblable à de la porcelaine, et complétement insoluble dans l'eau.

Lorsque l'on place de l'acide cyanurique dans un tube de verre hermétiquement fermé, et qu'on le soumet à l'action d'une température élevée, il se convertit en acide cyanique hydraté; mais, à la température ordinaire, ce dernier se transforme de lui-même en cyamélide, sans perdre et sans recevoir du dehors aucune molécule. Réciproquement, on peut à volonté métamorphoser le cyamélide en acide cyanurique ou en acide cyanique hydraté.

L'aldéhyde, le métaldéhyde, et l'élaldéhyde se comportent tous trois d'une manière analogue à celle des corps dont nous venons de parler. Ces trois corps peuvent se transformer l'un dans l'autre sans l'intervention d'aucune autre substance. L'urée et le cyanate d'ammoniaque sont dans le même cas l'un par rapport à l'autre.

La doctrine qui admet que la matière n'est pas divisible à l'infini, mais est, au contraire, composée d'atomes insécables, est la seule qui permette d'expliquer ces phénomènes d'une manière satisfaisante. Dans les combinaisons chimiques, les atomes ne se pénètrent pas les uns les autres; ils se disposent seulement dans un ordre déterminé, et c'est de cet ordre que dépendent les propriétés du composé. Si une cause extérieure vient à déranger leur position, ils se groupent d'une autre

manière, et nous avons un autre corps doué de propriétés totalement différentes. Nous pouvons supposer que pour former un atome composé, un atome d'un corps s'unit à un atome d'un second corps; tandis que dans d'autres combinaisons, les atomes s'unissent deux à deux, quatre à quatre, huit à huit, pour constituer un atome composé. Dans toutes ces combinaisons, la somme pour cent des éléments est absolument égale; et cependant leurs propriétés physiques et chimiques doivent être complétement différentes; car nous avons, dans ce cas, des atomes composés, dont l'un contient deux atomes simples, le second quatre atomes simples, et le troisième huit ou seize.

La découverte de ces faits a été l'origine d'un grand nombre d'observations des plus importantes; elle nous a donné l'explication d'une multitude de phénomènes qui, auparavant, étaient pour nous autant de mystères. Ainsi, l'amorphisme est une des idées nouvelles que nous lui devons.

On désigne sous le nom d'*amorphisme* un état particulier des corps qui est opposé à la cristallisation. Lorsqu'on observe une substance en train de cristalliser, on remarque un mouvement incessant dans le liquide, comme si les molécules solides étaient de petits aimants. Elles se repoussent les unes les autres dans une direction, s'attirent, au contraire, dans une autre, et se déposent les unes à côté des autres; enfin, elles s'arrangent de façon à présenter une forme régulière, forme qui est toujours la même pour la même substance, lorsque d'ailleurs toutes les conditions de l'expérience demeurent les mêmes. Mais les choses n'ont pas toujours lieu de cette manière, lorsqu'une substance passe de l'état liquide

ou gazeux à l'état solide. Pour que la cristallisation s'opère, il faut non-seulement un certain laps de temps, mais encore que le mouvement des molécules ne soit pas troublé. Ainsi, quand nous forçons un corps liquide ou gazeux à se solidifier brusquement, et ne donnons pas à ses molécules le temps de se grouper entre elles et de s'agréger dans le sens où leur attraction (force de cohésion) est la plus forte, il ne se forme pas de cristaux, mais tout simplement des corps solides qui diffèrent des cristaux par la couleur, la dureté, le degré de cohésion et le pouvoir avec lequel ils réfractent la lumière; en un mot, nous obtenons des corps amorphes. C'est ainsi que nous avons du cinabre rouge, et du cinabre noir comme du charbon; du soufre solide et dur, et du soufre mou, transparent et ductile; du verre opaque d'un blanc laiteux et d'une dureté telle qu'il fait feu avec l'acier, et du verre commun transparent, à cassure conchoïde. Ces différences d'état et de propriétés d'un seul et même corps proviennent de ce que, dans un cas, les atomes se sont groupés d'une façon régulière, tandis que, dans l'autre, ils se sont disposés d'une manière confuse.

Dans un cas, le corps est cristallisé; dans l'autre, il est amorphe. Nous avons tout lieu de croire que l'argile schisteuse ainsi que diverses espèces de wacke gris, ne sont pas autre chose que du feldspath amorphe, du micaschiste ou du granit, de même que le calcaire de transition est du marbre amorphe, le basalte et la lave un mélange de zéolithe et d'augite.

Toutes les circonstances qui exercent une influence sur la force de cohésion, doivent modifier jusqu'à un certain point les propriétés des corps. Le carbonate de chaux, que l'on a

fait cristalliser à la température ordinaire, possède la forme cristalline, la dureté et le pouvoir réfringent du spath calcaire : quand, au contraire, on le fait cristalliser à une température plus élevée, il nous offre la forme et les propriétés de l'arragonite.

En résumé, l'isomorphisme ou l'identité de forme que présentent un grand nombre de combinaisons chimiques ayant une constitution semblable, semble démontrer que la matière est composée d'atomes, et que les propriétés des corps dépendent de l'arrangement de ces atomes. Ne pourrait-on pas se demander si quelques-uns de ces corps, que nous regardons comme des éléments, ne sont pas de simples modifications d'une seule et même substance, si ce n'est pas la même substance ne différant que par le mode d'arrangement de ses atomes? Le fer, par exemple, peut s'offrir à nous sous deux états : dans l'un, il se comporte dans la chaîne électrique comme le platine, et dans l'autre comme le zinc; bien plus, on a pu construire avec ce seul métal des piles galvaniques extrêmement puissantes.

Certains corps simples se ressemblent singulièrement sous le rapport de leurs propriétés : tels sont le platine et l'iridium; le chlore, le brome et l'iode; le fer, le manganèse et le magnésium; le cobalt et le nickel; le phosphore et l'arsenic. Mais on oublie, en général, que la ressemblance se borne aux proportions suivant lesquelles ils se combinent. Ces composés se ressemblent uniquement, parce que les atomes qui les constituent sont disposés de la même manière. Le nitrate de strontiane devient tout à fait différent de ce qu'il est dans son état ordinaire, lorsqu'un certain nombre

d'atomes d'eau vient à entrer dans sa composition. Si nous supposons que le sélénium est tout simplement du soufre modifié et que le phosphore est également de l'arsenic modifié, on doit se demander comment il se fait que l'acide phosphorique et l'acide arsénique, que l'acide sulfurique et l'acide sélénique forment respectivement des composés qu'il est impossible de distinguer les uns des autres par leur forme, leur solubilité, etc. Or, si ces corps étaient simplement isomériques, ils devraient précisément manifester des propriétés différentes.

Nous n'avons aujourd'hui aucun motif, quelque faible qu'il soit, de croire qu'un élément quelconque puisse se convertir en un autre élément. Car d'abord une semblable transformation supposerait que l'élément est composé de deux ou plusieurs parties intégrantes, et, par conséquent, n'est pas un élément. Tant que l'on n'aura pas réussi à décomposer les éléments actuellement admis par la science, nous sommes en droit de ne tenir aucun compte des observations de ce genre. Ainsi, par exemple, Henri Brown d'Edimbourg prétendait avoir converti du fer en rhodium et du carbone en sélénium. Il suffisait, même sans répéter les expériences de ce chimiste, de lire son mémoire, qui fut publié dans les Transactions de la Société royale d'Edimbourg, pour être convaincu que l'auteur de cette grande découverte ignorait complétement les principes de l'analyse chimique. Au reste, ces expériences furent répétées avec soin par des personnes capables, et les résultats confirmèrent l'ignorance de M. Brown. Son rhodium était du fer, et son sélénium était du charbon impur et difficilement combustible.

LETTRE XII.

Influence des forces mécaniques sur la formation et la décomposition des combinaisons chimiques. — Influence de la chaleur sur l'affinité. — Combinaisons organiques plus complexes que les composés inorganiques. — Cause pour laquelle les combinaisons organiques se décomposent plus facilement que les inorganiques. — Chaleur; cause déterminante de la forme des combinaisons inorganiques. — Chaleur, lumière, mais surtout force vitale; causes déterminantes de la forme et des propriétés des composés organiques.

Ni la chaleur, ni la force électrique, ni la force vitale ne sont capables d'associer en un groupe des matières hétérogènes, de les réunir en une combinaison; la force chimique seule a cette puissance.

Partout dans la nature organique, dans toutes les combinaisons qui se produisent dans l'organisme vivant des animaux ou des plantes, nous rencontrons les mêmes lois, nous observons les mêmes rapports de combinaison fixes et invariables que dans la nature inorganique.

La substance cérébrale, la substance musculaire, les éléments du sang, le lait, la bile, etc., sont constitués par des atomes composés dont la formation et le maintien dépendent de l'affinité que leurs plus petites molécules exercent les unes sur les autres : c'est l'affinité seule qui détermine leur

rapprochement. Une fois séparées du corps vivant et soustraites à l'influence de la force vitale, ces molécules ne se maintiennent que grâce à l'action des forces chimiques; du degré d'intensité et de la direction de ces forces dépendent l'énergie ou la faiblesse de la résistance qu'elles opposent aux causes extérieures de perturbation, aux forces qui tendent à détruire l'attraction chimique. Mais la lumière, la chaleur, la force vitale, la force de la pesanteur exercent une influence incontestable sur le nombre des atomes simples qui se réunissent pour former un atome composé et sur le mode d'arrangement de ces atomes simples; par cela même que ces forces possèdent le pouvoir de communiquer le mouvement aux atomes en état de repos et d'arrêter un mouvement commencé, elles déterminent ce que les propriétés et les combinaisons présentent de particulier et de caractéristique.

La lumière, la chaleur, la force vitale, les forces électrique et magnétique, la pesanteur, se manifestent donc comme causes de mouvement et de résistance : à ce titre, elles sont capables de changer la direction et de modifier l'intensité de la force chimique, c'est-à-dire de l'augmenter, de la diminuer ou de l'anéantir.

Un simple mouvement mécanique suffit pour imprimer à la force de cohésion des corps en train de cristalliser une direction déterminée, et pour changer celle de l'affinité dans les combinaisons chimiques. Nous pouvons abaisser la température de l'eau bien au-dessous du point de congélation sans qu'elle se prenne en cristaux, tant qu'elle reste dans un repos complet; mais il suffit de la toucher en cet état avec la pointe d'une épingle pour la transformer instantanément

en une masse solide de glace. Pour former des cristaux, les molécules ont besoin de se mouvoir et de changer de place afin de pouvoir s'arranger dans le sens le plus favorable à leur attraction réciproque. Il est une foule de dissolutions salines, saturées à l'aide de la chaleur, qui ne laissent pas déposer le moindre cristal pendant leur refroidissement, tant qu'on les tient dans un repos absolu ; mais le plus petit grain de poussière, un grain de sable, par exemple, jeté dans le liquide, détermine la cristallisation. Une fois l'impulsion donnée, elle se propage d'elle-même : l'atome qui l'a reçue la communique à celui qui l'avoisine immédiatement, et le mouvement s'étend ainsi de proche en proche à tous les atomes.

Lorsque nous mettons du mercure dans une dissolution de foie de soufre, la surface du liquide se couvre aussitôt d'une couche noire de mercure à l'état amorphe, et cette couche se renouvelle chaque fois que nous l'enlevons. Si l'on fixe le flacon de verre qui contient le mélange au cadre d'une scie mécanique qui s'élève et s'abaisse plusieurs milliers de fois dans l'espace d'une heure, nous voyons la poudre noire se transformer en cinabre de la plus belle couleur rouge, lequel, abstraction faite de la couleur, ne diffère du noir qu'en ce qu'il est cristallisé.

La fonte de fer ordinaire doit sa dureté, sa fragilité et sa nature cristalline au carbone qu'elle contient : le fer pur et exempt de carbone n'est que très rarement cristallin. Ce qui constitue la différence qu'on observe entre le fer météorique et la fonte blanche, c'est que, malgré la texture cristalline la plus prononcée, le premier possède une souplesse extrême qui égale presque celle du fer forgé le plus pur dont la texture

est cependant tout à fait différente. En effet une barre de fer forgé est tenace ; sa cassure est fibreuse, et les surfaces n'en sont point limitées par des facettes cristallines correspondantes ; ses molécules sont disposées pêle-mêle et sans ordre : quand elle est polie et qu'on la mouille avec un acide, sa surface n'offre aucun des caractères particuliers qui appartiennent au fer cristallisé. Mais si cette même barre de fer forgé vient à être soumise pendant longtemps à des coups de marteau faibles, mais constamment répétés, les plus petites molécules, les atomes du fer changent de place, et s'arrangent, par suite de l'impulsion mécanique qui agit sur eux, dans le sens le plus favorable à leur attraction réciproque ; la barre prend une texture cristalline et devient cassante comme la fonte ; sa cassure, au lieu d'être fibreuse, est nette et brillante. Ce phenomène se produit avec plus ou moins de rapidité dans les essieux en fer des locomotives et des voitures de voyage : nous lui devons ces accidents sans exemple avant notre époque.

Ce n'est pas seulement sur la forme extérieure et l'état des corps, sur l'arrangement des molécules homogènes que les forces mécaniques exercent une influence déterminante ; elles influent encore sur le mode d'arrangement des atomes composés d'éléments hétérogènes, et sur le maintien de leur constitution chimique. Le moindre frottement, le choc le plus léger produisent l'explosion du mercure ou de l'argent fulminant ; le simple contact de la barbe d'une plume suffit pour décomposer l'iodure d'azote. Dans tous ces cas, le simple ébranlement des atomes change la direction de l'attraction chimique, et détermine ces atomes à former de nouveaux

groupes en harmonie avec l'impulsion reçue : leurs éléments se combinent d'une autre manière et donnent naissance à des produits nouveaux.

Mais l'influence de la chaleur sur la manifestation de l'affinité est encore bien plus évidente et se présente bien plus fréquemment à notre observation. Par cela seul qu'elle triomphe des résistances qui s'opposent à l'action de l'affinité, la chaleur accélère et favorise l'accomplissement des combinaisons chimiques. Au contraire, lorsqu'elle joue elle-même, à l'égard de l'affinité, le rôle d'obstacle, elle change la direction de l'attraction, la disposition des atomes; elle empêche l'attraction de s'exercer. Aux degrés inférieurs de température, l'attraction que les atomes composés d'éléments hétérogènes exercent les uns sur les autres, n'est pas la même que lorsque la température est élevée ; il n'y a plus de combinaison chimique, quand la chaleur est portée aussi haut que possible.

Lorsque, pendant l'hiver, on expose une dissolution aqueuse de sel marin à un froid intense, il s'y forme de beaux prismes volumineux, transparents et limpides comme de l'eau de roche, qui contiennent au-delà de 38 pour 100 d'eau à l'état de combinaison chimique. Ce même corps, cristallisé à la température ordinaire, est toujours anhydre, c'est-à-dire exempt d'eau. Au plus léger contact de la main, les cristaux hydratés (contenant de l'eau) prennent une couleur blanc de lait et deviennent opaques; mis sur la main, ils se transforment en une bouillie où l'on n'aperçoit plus aucun vestige des petits cubes du sel ordinaire. Une faible différence de 10 degrés de température a donc suffi pour procurer aux

molécules cristallines du sel marin une affinité à l'égard de l'eau qu'elles ne possèdent jamais au point de la congélation.

Lorsque le carbonate de chaux cristallise dans l'eau froide, ses molécules se groupent de manière à représenter la forme des cristaux du spath d'Islande; lorsqu'au contraire ce corps cristallise dans l'eau chaude, la forme de ses cristaux est celle de l'arragonite. Ces deux minéraux, malgré la disparité de leur forme cristalline, la différence de leur dureté, de leurs poids spécifiques et de leur pouvoir réfringent, contiennent cependant absolument les mêmes proportions d'acide carbonique et de chaux. Nous voyons, par cet exemple, que les molécules du carbonate de chaux prennent une configuration physique toute différente lorsqu'elles passent à l'état solide sous l'influence d'un degré élevé de température. Mais, chose plus remarquable encore, quand nous chauffons au rouge faible un cristal d'arragonite, quand, par conséquent, nous l'exposons à un degré de chaleur plus élevé que celui auquel il s'est formé, si alors une impulsion vient à être imprimée à sa masse entière, nous le voyons, sans que son poids soit le moins du monde modifié, se boursoufler en forme de chou-fleur et se transformer en une agglomération de petits cristaux, dont chacun présente la forme rhomboëdrique du spath calcaire ordinaire.

Sous l'influence d'une température de 75 degrés, un œuf de poule subit un changement complet dans toutes ses propriétés. Son albumine liquide et faiblement colorée en jaune prend une couleur blanc mat, et les molécules de cette substance perdent toute mobilité. Quoiqu'il n'y ait ni addition ni soustraction de matière, nos yeux sont frappés par la plus

étonnante métamorphose. Avant la cuisson, les molécules de l'albumine étaient solubles, miscibles à l'eau en toutes proportions ; mais après le mouvement que la chaleur leur a imprimé, elles perdent cette propriété, leurs atomes se groupent dans un autre ordre, et de ce nouveau mode d'arrangement découlent des propriétés nouvelles. Or, la cause prochaine de ce nouveau mode d'arrangement est due aux forces chimiques qui agissent dans les molécules de l'albumine. Dans leur nouvelle forme, ces molécules déploient désormais contre les causes de trouble, et contre la chaleur en particulier, une force de résistance qu'elles ne possédaient pas primitivement.

Toutes les substances organiques se comportent de la même manière. Toutes sans exception sont modifiées ou détruites par la chaleur, suivant le degré d'intensité avec lequel elle agit ; et la résistance que leurs atomes, ou mieux, que la force qui agit en eux oppose à la cause perturbatrice, se manifeste constamment par un nouveau mode d'arrangement des molécules. D'un atome composé, il se forme un, deux ou trois nouveaux groupes d'atomes qui se disposent toujours de manière à amener un nouvel état d'équilibre. Dans les produits de formation nouvelle, la résistance opposée à la force chimique est plus grande que dans le corps primitif : ce n'est pas que la somme d'affinité soit plus considérable, c'est que cette force, ne s'exerçant alors que dans une seule direction, peut déployer plus d'énergie et plus d'intensité dans ce sens.

Le meilleur moyen de se faire une idée de ce que l'on entend ici par direction, c'est de se représenter une molécule

d'eau placée au centre d'un verre rempli de ce liquide.

La molécule centrale est attirée par toutes les molécules d'eau qui l'environnent immédiatement : à son tour elle exerce un degré absolument égal d'attraction à leur égard, et l'intensité de cette attraction n'est pas plus forte dans un temps que dans l'autre. L'extrême mobilité de la molécule aqueuse et la facilité avec laquelle elle se déplace, dépendent précisément de ce que toutes les forces attractives qui agissent sur elle se trouvent en état d'équilibre. La force extérieure la plus minime, la plus légère différence de température, qui augmente ou qui diminue sa densité, suffisent pour déterminer son déplacement.

Si elle était plus fortement attirée d'un côté que de l'autre, elle se mouvrait dans ce sens, et il faudrait une certaine force pour l'arracher de l'endroit où l'attraction s'exerce. Or, c'est précisément dans cette condition que se trouvent les molécules de l'eau à la surface du liquide : elles sont moins mobiles que les molécules sous-jacentes, parce que la pression extérieure qui pèse sur elles les tient plus rapprochées les unes des autres, plus serrées, plus condensées. Une aiguille fine d'acier posée avec précaution à la surface de l'eau peut y rester en suspension, tandis qu'elle se précipite avec rapidité au fond du liquide quand on l'y plonge. Cette cohésion plus forte des molécules placées à la surface tient à ce qu'elles ne sont attirées et n'attirent elles-mêmes que dans une *seule direction*, et à ce qu'aucune attraction de molécules sus-jacentes ne vient contrebalancer la force attractive des molécules sous-jacentes. Pour que l'aiguille tombe au fond du liquide, il faut nécessairement que les molécules

superficielles lui fassent place ; il faut qu'elles quittent la leur, qu'elles s'écartent : cependant elles ne se séparent pas, quoique l'aiguille exerce sur elles une pression 7 à 8 fois plus considérable que ne le ferait un volume d'eau égal au sien.

C'est exactement de la même manière que se comporte, dans les combinaisons chimiques, la force attractive qui tient leurs éléments constitutifs réunis. Les directions de la force attractive se multiplient avec le nombre des éléments, avec le nombre des atomes qui entrent dans la formation d'un groupe ; mais l'intensité de l'attraction décroît en raison de la multiplicité de ses directions. Deux atomes, réunis en une combinaison, ne peuvent s'attirer que d'un côté : la somme totale de la force attractive ne se déploie que dans ce sens ; mais s'il survient un second, un troisième atome, une partie de cette force sera nécessairement employée à attirer ces nouveaux atomes et à les retenir. Il suit naturellement de là que l'attraction réciproque de tous les atomes s'affaiblit, et qu'ils opposent moins de résistance qu'auparavant aux causes extérieures qui tendent à les déplacer.

Ce qui constitue la grande différence qui existe entre les substances organiques et les substances minérales, c'est que les premières sont des combinaisons plus complexes que les secondes ; non pas qu'elles se composent d'un beaucoup plus grand nombre d'éléments, car elles n'en renferment que 3 ou 4, 5 au plus, mais la constitution de leurs atomes est beaucoup plus compliquée. Une molécule de sel marin, ou une molécule de cinabre représente un groupe de deux atomes seulement : un atome de sucre, au contraire, renferme 36 atomes simples, et une molécule d'huile d'olive en con-

tient plusieurs centaines. Dans le sel marin, l'affinité se déploie dans un sens unique ; dans l'atome de sucre, elle se déploie dans 36 directions. Nous pouvons nous figurer les 36 atomes simples qui composent l'atome du sucre, arrangés de mille manières différentes, sans que rien vienne s'y ajouter et sans que rien en sorte. Or, à chaque changement introduit dans la situation d'un seul des atomes qui forment l'atome composé, ce dernier cesse d'être un atome de sucre, car les propriétés qui le caractérisent changent avec le mode d'arrangement de ses propres atomes.

Des causes de déplacement, des causes perturbatrices de l'affinité, qui seraient incapables d'exercer une action destructive sur des atomes de composition simple, sur des atomes de composés minéraux, par exemple, seront suffisantes pour modifier la constitution des atomes organiques, ainsi que de tous les atomes qui se distinguent par leur complexité.

C'est précisément à cause de leur extrême complexité atomique et du peu de force avec laquelle leurs éléments s'attirent réciproquement que les corps organiques se décomposent si facilement sous l'influence de la chaleur : par exemple, leurs atomes une fois mis en mouvement ou éloignés les uns des autres par l'action de la chaleur, se groupent en atomes composés plus simples, mais alors la force d'attraction agissant dans un nombre de directions plus restreint, permet à ces atomes d'opposer aux causes de perturbation une résistance d'autant plus puissante.

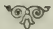
Les minéraux, les combinaisons inorganiques sont le résultat de l'affinité chimique s'exerçant librement et sans entraves : mais le mode d'association de leurs éléments, la

nature de leur arrangement dépendant de l'action simultanée de causes extérieures étrangères, ce sont ces dernières qui déterminent la forme et les propriétés des composés. Si, pendant que la combinaison s'accomplissait, la température eût été de quelques degrés plus élevée ou plus basse, les atomes se seraient groupés tout autrement qu'ils ne l'ont fait.

La chaleur, la lumière et surtout la force vitale jouent dans les combinaisons organiques un rôle absolument semblable à celui que joue la chaleur dans les combinaisons inorganiques. C'est cette dernière qui détermine le nombre des atomes qui se réunissent, et la manière dont ils se groupent entre eux. Nous pouvons fabriquer un cristal d'alun avec les éléments qui entrent dans sa composition, c'est-à-dire avec du soufre, de l'oxygène, du potassium et de l'aluminium, parce que nous pouvons, jusqu'à un certain point, disposer à notre gré de l'affinité chimique de ces éléments ainsi que de la chaleur, et par conséquent déterminer le mode de groupement des atomes. Mais nous avons beau prendre tous les éléments qui entrent dans une molécule de sucre, nous ne pouvons pas la reproduire, parce que la force qui a fait grouper ces éléments dans la forme propre à l'atome de sucre, n'obéit pas à notre volonté, comme le font la chaleur, la lumière, la pesanteur, etc. Cependant une fois que les éléments se sont réunis dans l'organisme en atomes organiques, ils rentrent dans la classe des autres combinaisons chimiques. Nous sommes dès lors en état d'imprimer des directions variées à la force qui exerce son action entre leurs atomes et les tient réunis; nous pouvons la modifier, l'ac-

croître et l'annihiler. Nous pouvons, en combinant ensemble deux, trois, quatre atomes organiques composés, produire des atomes d'un ordre supérieur; nous avons la faculté de réduire les atomes complexes en atomes plus simples. Ainsi, avec du bois ou de l'amidon, on fait du sucre; avec du sucre, on fait de l'acide oxalique, de l'acide lactique, de l'acide acétique, de l'aldéhyde, de l'alcool, de l'acide formique, quoiqu'il soit impossible aux chimistes de reproduire une seule de ces combinaisons au moyen des éléments qui la composent.

Ce n'est pas la force vitale qui exerce le moins d'influence sur l'association des éléments en combinaison chimique. Il n'existe pas un seul élément qui, par lui-même, soit susceptible de servir à la nutrition et au développement des plantes ou des animaux. Toutes les substances qui prennent part aux phénomènes vitaux sont des groupes d'atomes simples réunis, par l'influence de la force vitale, en atomes de degrés supérieurs. C'est la force chimique qui, sous l'empire de la chaleur, détermine la forme et les propriétés des groupes les plus simples d'atomes; mais c'est la force vitale qui détermine la forme et les propriétés des atomes de degrés supérieurs, des atomes organisés.



LETTRE XIII.

Transformation des combinaisons organiques aussitôt que l'on soustrait ces combinaisons à l'influence de la force vitale. — Fermentation, putréfaction, décomposition. — Mouvement ; il est la cause de cette transformation. — Fermentation du jus de raisin. — Ferment. — Transformation de l'aldéhyde. — Agents de fermentation en général. — Forme de la fermentation ; elle dépend du mode de groupement des atomes en voie de transformation. — Fermentation alcoolique. — Fermentation muqueuse. — Formation d'acide lactique, d'acide butyrique, d'huile empyreumatique. — Causes du bouquet et de la saveur des vins. — Éther acétique, éther butyrique, éther œnanthique.

C'est simplement à l'inertie que les atomes organiques doivent de conserver leur état, leur forme et leurs propriétés quelque temps encore après l'extinction de l'activité vitale. Une loi, dont la généralité embrasse toute la nature, démontre que la matière est dépourvue de toute activité spontanée. Un corps mis en mouvement ne cesse de se mouvoir que parce qu'il rencontre une résistance ; un corps à l'état de repos ne sort de cet état, ne se meut, que lorsqu'une cause extérieure vient à agir sur lui.

Les éléments constitutifs des tissus végétaux et animaux ne se produisent que sous l'empire de la force vitale ; c'est elle qui détermine la direction suivant laquelle les éléments

s'attirent entre eux. La force vitale est une force motrice, capable de communiquer un mouvement aux atomes en repos et de jouer le rôle d'obstacle à l'égard d'autres forces motrices, à savoir : la force chimique, la chaleur et la force électrique. Il est en notre pouvoir de redissoudre et de fluidifier de nouveau l'albumine coagulée par la chaleur, mais la force vitale seule a la puissance de rétablir dans son état primitif, c'est-à-dire de rétablir tel qu'il était dans l'œuf, le groupement des éléments qui constituent la molécule d'albumine. La chair et l'albumine cuites, redeviennent dans l'organisme albumine, chair et sang.

Pendant la formation des tissus végétaux et animaux, la force vitale remplit un rôle de résistance à l'égard des autres forces, c'est-à-dire de la force de cohésion, de la chaleur et de l'électricité, forces qui, lorsqu'elles agissent en dehors de l'organisme, empêchent les atomes de se grouper en combinaisons de degrés supérieurs. La force vitale annihile l'influence perturbatrice que ces causes exercent sur la force chimique ; elle favorise, au contraire, le développement de celle-ci absolument de la même manière que la chaleur facilite ou du moins rend possible la formation des composés inorganiques, soit en écartant, soit en amoindrissant les obstacles que d'autres forces opposent à cette formation.

Dans les combinaisons aussi complexes que celles qui existent dans les atomes organiques, ce sont précisément ces autres forces qui déterminent les changements qui s'opèrent après la mort dans leurs propriétés. En effet, une fois que la force vitale a cessé de faire antagonisme à l'action de ces forces, le simple contact de l'air, la plus faible

action chimique suffisent pour provoquer une métamorphose, un nouveau groupement des atomes, une décomposition. C'est alors que nous voyons se reproduire les remarquables phénomènes qu'on désigne sous le nom de fermentation, de putréfaction et de décomposition. Tous ces phénomènes sont purement et simplement une série de décompositions dont le résultat définitif est la résolution des principes constitutifs de l'organisme, ou, en d'autres termes, le retour des éléments à l'état dans lequel ils se trouvaient avant d'être soumis à l'influence de la force vitale. Pendant que cette série de phénomènes s'effectue, les atomes organiques qui appartiennent à un ordre de combinaison supérieur, se résolvent en combinaisons d'ordre inférieur, c'est-à-dire reviennent à leur point de départ. C'est seulement dans ces dernières années qu'on est parvenu à se faire une idée plus exacte des causes qui provoquent et entretiennent ces phénomènes tout particuliers de décomposition, qui diffèrent tellement par leur forme ainsi que par leur apparition des décompositions chimiques ordinaires. En effet, jamais on n'a vu un seul des principes constitutifs des plantes et des animaux entrer spontanément en fermentation ou en putréfaction. Il faut toujours, pour déterminer cette série de phénomènes, l'intervention de la chaleur et d'une action chimique, à savoir, le contact du gaz hydrogène ou du gaz oxygène.

Le jus de raisin, tant qu'il est protégé par son enveloppe contre le contact de l'air atmosphérique, n'éprouve que des modifications à peine appréciables. La grappe ne fait que se dessécher peu à peu. Mais il suffit d'ouvrir l'enveloppe avec

la pointe d'une aiguille à coudre pour changer toutes les propriétés de ce suc. Lorsqu'il est à l'abri du contact de l'air, et par conséquent soustrait à l'action chimique que l'oxygène de l'atmosphère exerce sur l'un de ses principes constitutifs, le moût de raisin se conserve indéfiniment; car, en l'absence d'une cause perturbatrice, les éléments ne peuvent subir aucun changement, quelle que soit leur facilité à s'altérer. Mais lorsqu'il est exposé à l'air et soumis à une température convenable, il s'y produit un vif dégagement de gaz accompagné de mouvements dans le liquide, et tout le sucre disparaît. La fermentation une fois terminée, le moût se clarifie, et il se forme un dépôt boueux et jaunâtre de lie. Le jus de raisin contient alors une quantité d'alcool correspondante à la proportion de sucre qu'il renfermait auparavant.

Séparée du moût, la lie ou ferment jouit de la propriété de provoquer, dans l'eau sucrée qui vient d'être préparée, des phénomènes semblables dont le résultat définitif est la disparition du sucre et sa décomposition en acide carbonique et en alcool. Le ferment ajouté s'évanouit à mesure que les molécules du sucre se détruisent, attendu que lui-même éprouve une décomposition, plus lente, il est vrai, que celle du sucre : il perd ainsi peu à peu complétement la propriété de produire la fermentation dans de l'eau sucrée nouvellement préparée.

Les liquides animaux se comportent tout à fait de la même manière. Le lait dans le pis de la vache, l'urine dans la vessie, ne subissent aucune modification dans leurs propriétés, pourvu que l'animal soit bien portant : mais au simple con-

tact de l'air, le lait se coagule; la matière caséeuse se sépare, sans dégagement de gaz, sous la forme d'une masse gélatineuse; le liquide aigrit, et à mesure que son acidité augmente, le sucre de lait disparaît.

La fermentation d'un suc végétal et l'acidification ou la coagulation du lait sont des phénomènes qui appartiennent tous deux à la même classe : la seule différence qui existe entre eux consiste dans la forme, c'est-à-dire dans l'état sous lequel se présentent les produits nouvellement formés aux dépens des éléments du liquide. Parmi les nouvelles combinaisons auxquelles le jus de raisin a donné naissance, il en est une, l'acide carbonique, qui se dégage sous forme gazeuse : de là, la production d'écume et l'effervescence que l'on remarque dans ce cas. Les composés nouveaux que forme le lait restent en dissolution dans le liquide. Or, comme la forme et l'état des produits de la fermentation sont quelque chose de tout à fait accidentel, on désigne aujourd'hui sous le nom général de fermentation toutes les métamorphoses analogues à celles qui toutes s'opèrent dans le lait ou dans le jus de raisin : peu importe qu'elles s'accompagnent ou non d'un dégagement de gaz. Dans le langage ordinaire, on distingue le phénomène de la putréfaction de celui de la fermentation; mais cette distinction ne repose sur aucun fondement scientifique, car la différence qui existe entre elles n'est appréciable qu'aux nerfs de l'odorat. La putréfaction est tout simplement la fermentation des matières organiques qui contiennent de l'azote et du soufre : c'est à la présence de ces éléments que les produits nouveaux doivent leur fétidité.

La cause prochaine de ces phénomènes est la complexité même des atomes organiques. La facilité avec laquelle ces derniers s'altèrent, dépend du faible degré d'attraction qui tient les atomes simples réunis en atomes complexes, et par conséquent de leur mobilité. Les sucs des plantes ainsi que les liquides animaux contiennent des substances qui, une fois soustraites à la protection de l'organisme, subissent une modification dès l'instant où elles entrent en contact avec l'oxygène de l'air. Lorsque nous coupons une pomme, une pomme de terre, une betterave, la surface blanche de la section se colore en brun au bout de quelques minutes. A la plus petite lésion pratiquée sur une écorce verte ou sur une feuille, il s'opère dans le suc des modifications analogues, bien qu'elles ne s'annoncent pas toujours par un changement de coloration. Dans ce cas, l'oxygène de l'air se combine avec l'un des éléments du suc, et à l'instant même l'arrangement primitif des atomes cesse d'être le même. L'équilibre entre leurs attractions réciproques se trouvant ainsi détruit, ils se groupent d'une autre manière, et il se produit un mouvement au sein de l'atome composé.

L'impulsion une fois communiquée, le mouvement persiste. Ainsi, quand la fermentation a commencé dans un suc végétal, dans le lait, dans l'urine, dans la chair musculaire, l'oxygène, cause première du phénomène, peut être désormais complétement exclus du contact de ces substances : la fermentation n'en continuera pas moins sans éprouver d'interruption.

La première molécule, dont les atomes sont mis en mouvement par l'action chimique de l'oxygène, se trouve en

contact avec d'autres molécules qui ont une composition semblable ou différente. Le mouvement qui a lieu dans le sein même de cette molécule, agit à la manière d'un choc sur les atomes qui la touchent immédiatement. Maintenant le mouvement de la première molécule peut se propager au loin ou s'arrêter : cela dépend uniquement du degré d'intensité avec lequel l'attraction s'exerce entre les atomes des molécules en repos. Si le mouvement est plus puissant que la résistance, il se communiquera à une deuxième molécule : dans celle-ci, les atomes vont se mouvoir d'une manière tout à fait semblable et dans la même direction que les atomes de la première molécule. De l'identité du groupement atomique résultera l'identité des produits : le mouvement ou la métamorphose de la seconde molécule se propagera successivement à la troisième, à la quatrième, enfin à tous les atomes composés qui se trouvent dans le liquide. Si la résistance ou la force qui maintient réunis les éléments des atomes composés, est plus puissante que la cause qui tend à produire un changement dans la situation de ces atomes et dans leur mode d'arrangement, c'est-à-dire qui tend à opérer leur séparation et la formation de nouveaux produits, l'impulsion communiquée ira en s'affaiblissant jusqu'à ce qu'elle s'éteigne peu à peu.

L'un des exemples les plus remarquables de transformation d'une substance non azotée à la suite d'un mouvement commencé de perturbation, nous est fourni par l'*aldéhyde*. Cette substance est un liquide incolore et d'une odeur suffocante ; il est miscible à l'eau, et si volatil que la chaleur seule de la main (21 degrés) suffit pour le faire entrer en ébullition.

Ce liquide jouit de la propriété de s'emparer avec avidité de l'oxygène de l'air, et de se transformer par là en acide acétique; lorsqu'on le met en contact avec de la potasse caustique, il se condense en une résine brune. Ce sont là, assurément, des propriétés remarquables; mais la plus frappante de toutes, c'est son instabilité. Ainsi, pendant qu'on prépare l'aldéhyde, il est impossible de le mettre à l'abri du contact de l'oxygène de l'air. Or, si nous en remplissons un tube de verre et que nous fermions hermétiquement ce tube à la lampe, il y aura constamment une ou plusieurs des molécules de l'aldéhyde qui auront eu le temps de s'imprégner d'oxygène; mais l'acte qui a produit l'état où se trouvent ces molécules, devra nécessairement cesser dès que l'oxygène aura été exclus. Il est certain que cette exclusion de l'oxygène arrêtera dans l'aldéhyde le phénomène de l'oxydation, mais le trouble survenu dans l'équilibre de l'attraction qui existe entre ses éléments se propagera à toutes les molécules de ce corps. Le mouvement imprimé aux molécules d'aldéhyde qui sont en train de s'oxyder, fait sortir de leur repos les atomes voisins, et il en résulte un groupement nouveau des éléments tout à fait différent du groupement primitif. L'impulsion, après s'être communiquée aux molécules les plus voisines, finit par se propager à toutes les autres; en sorte qu'au bout de quelques jours ou de quelques semaines de séjour dans un vase hermétiquement fermé, ce n'est plus de l'aldéhyde que l'on a, c'est un corps qui, sous le rapport des propriétés, ne possède plus qu'une analogie éloignée avec l'aldéhyde. En effet, nous trouvons alors dans le tube un liquide qui, au lieu d'être miscible à l'eau, surnage comme

de l'huile à sa surface, qui exhale une odeur éthérée agréable, que la potasse caustique ne condense plus en résine, qui n'est plus susceptible de se transformer en acide acétique, et enfin dont le point d'ébullition est de 60 degrés plus élevé que celui de l'aldéhyde.

Cependant, malgré la différence énorme qui existe entre ces deux corps, ce dernier est encore de l'aldéhyde sous le rapport de la composition, car les mêmes éléments s'y retrouvent dans les mêmes proportions pondérales : seulement leurs atomes y sont plus rapprochés (comme le prouve la comparaison du poids spécifique de sa vapeur avec celle de l'aldéhyde) ; ils sont également groupés dans un autre ordre.

Il est aisé de voir que la fermentation exige un certain laps de temps, qu'elle ne peut s'effectuer comme les autres réactions chimiques dans une fraction incommensurable de temps, puisque dans ce cas la décomposition est précisément le résultat de la propagation successive d'un mouvement d'une molécule à une autre. De plus, il est évident que les combinaisons organiques ne sont pas toutes susceptibles de subir la fermentation. Cette propriété n'appartient qu'aux atomes composés ; on ne l'observe pas dans ceux dont les éléments constitutifs sont maintenus réunis par une affinité plus puissante.

On comprend facilement, et c'est là ce qu'il y a de plus remarquable dans le phénomène dont nous parlons, qu'aucune substance étrangère, et par conséquent qu'aucune affinité chimique particulière ne prend part à la formation des produits nouveaux qui s'effectue alors. Tout se borne à une simple désagrégation des éléments : celle-ci tient à ce que

l'équilibre qui existait entre leurs attractions réciproques se trouve dérangé. L'atome de sucre se divise en deux atomes d'acide carbonique et en un atome d'alcool, et ces trois sortes d'atomes pris ensemble contiennent tous les éléments de l'atome de sucre, tant sous le rapport de la quantité que sous le rapport de la qualité. Le lait doux renferme du sucre de lait ; dans le lait aigre, il se trouve remplacé par de l'acide lactique. Néanmoins le sucre de lait et l'acide lactique sont identiques sous le rapport de la composition, c'est-à-dire qu'ils contiennent tous les deux les mêmes éléments dans les mêmes proportions pondérales ; seulement ces éléments sont groupés d'une autre manière. Toutefois, dans un certain nombre de cas, les éléments de l'eau ou bien les éléments d'autres atomes composés jouent un certain rôle dans la métamorphose, en ce sens que deux, trois, ou un plus grand nombre d'atomes composés, en se divisant entre eux en atomes plus simples, donnent naissance à des produits qui ont de l'affinité les uns pour les autres. Il en résulte par conséquent des produits qui, au lieu d'être isolés chacun à part, se trouvent en état de combinaison entre eux.

La levure, le ferment, les agents de fermentation en un mot, sont toujours des substances dont les éléments se trouvent encore en état de mouvement et en voie de métamorphose. Leur aptitude à déterminer la fermentation dépend précisément de ce que leurs éléments ne sont pas encore parvenus à un état de fixité. A mesure que la métamorphose marche et tire vers sa fin, l'agent fermentatif passe progressivement à l'état fixe et perd ainsi la faculté de provo-

quer dans d'autres atomes organiques une transformation semblable à celle qui s'accomplissait en lui-même. Ce qu'on appelle la levure n'a d'activité que lorsqu'elle est fraîche : un seul jour suffit déjà pour la modifier profondément.

Une dissolution de tannin peut se conserver pendant toute une année, dans un vase clos, sans éprouver la moindre altération ; mais dans l'état où se trouve le tannin lorsqu'il est encore dans l'extrait de noix de galle, ses propriétés s'altèrent insensiblement. Exposé dans un endroit chaud, il disparaît peu à peu, et on voit alors se déposer de magnifiques cristaux d'acide gallique. Outre le tannin, l'infusion de noix de galle renferme encore une substance étrangère qui éprouve, au contact de l'eau, une décomposition sous l'influence de laquelle le tannin subit une transformation semblable. C'est ainsi qu'il se produit de l'acide lactique dans les choux fermentés que nous appelons choucroute.

Les substances non azotées, soit végétales, soit animales, le sucre, la gomme, la fécule, la graisse, etc , n'entrent pas spontanément en fermentation quand on les expose au contact de l'oxygène. Cette propriété n'appartient, en général, qu'aux atomes d'une constitution plus complexe qui, outre le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, contiennent de plus deux autres éléments, à savoir, de l'azote et du soufre. Les deux derniers corps sont, à proprement parler, les agents excitateurs de la fermentation, c'est-à-dire de la transformation que subissent les substances non azotées. La fermentation continue tant que le sucre et le corps azoté qui est en voie de métamorphose se trouvent à côté l'un de l'autre. Quand l'oxygène est exclus, les deux actes de transformation,

celle du sucre et celle du ferment, s'accomplissent parallèlement : elles se déterminent l'une l'autre, de sorte que lorsque la transformation du sucre est achevée, lorsqu'il ne reste plus une seule molécule de sucre, une certaine portion du ferment demeure dans le liquide (dans les vins peu riches en sucre, par exemple) sans éprouver de modification ultérieure. Dans ce cas, le vin conserve la faculté d'entrer de nouveau en fermentation quand on y ajoute une nouvelle quantité de sucre. Si, au contraire, la métamorphose de l'agent fermentatif est terminée avant celle du sucre, tout le sucre non transformé reste tel qu'il était avant la fermentation : c'est ce qui a lieu dans les vins du midi.

La présence de l'agent fermentatif dans le vin communique à ce liquide la propriété de passer à l'état de vinaigre au contact de l'air ; mais lorsque l'agent de fermentation a été complétement séparé du vin, celui-ci peut, sans s'aigrir, rester exposé à l'air, peu importe que la température soit basse ou élevée.

Les agents de fermentation qui existent dans le jus de raisin et les sucs végétaux sont tous, sans exception, des substances dont la composition est semblable à celle du sang ou de la caséine du lait. La production de ces éléments sanguifiables dans les plantes, dans la vigne, par exemple, peut être accrue par les engrais d'origine animale. La fiente de vache est riche en alcalis qui contribuent à augmenter la proportion du sucre ; elle est pauvre en azote et en phosphates qui favorisent la formation des principes sanguifiables. Les excréments humains ne contiennent qu'une faible quantité d'alcalis ; aussi favorisent-ils singulièrement dans les

plantes la production d'éléments aptes à se convertir en sang, ou, si l'on aime mieux, d'éléments capables d'exciter la fermentation.

On voit que, dans la culture elle-même, c'est-à-dire dans un choix convenable d'engrais, nous possédons un moyen sûr d'exercer l'influence la plus marquée sur la quantité des sucs végétaux. Ainsi, nous pouvons améliorer le moût de raisin déjà riche en éléments sanguifiables, par l'addition d'une certaine quantité de sucre provenant, ce qui est ici tout à fait indifférent, d'une autre plante. Nous obtenons encore le même résultat, en ajoutant au suc exprimé de nos grappes non arrivées à maturité, des grappes mûres et desséchées apportées des climats méridionaux. Scientifiquement parlant, ce sont là de véritables améliorations auxquelles il serait tout à fait injuste de donner le nom de sophistications.

J'ai déjà dit que la forme, l'état et les propriétés des produits nouveaux auxquels l'acte de la fermentation donne naissance, dépendent du mode de groupement des atomes qui se métamorphosent, de la direction suivant laquelle ces derniers s'attirent. Dans ce cas-ci, la chaleur exerce une influence extrêmement marquée sur le mode d'arrangement des atomes, tout comme dans les phénomènes chimiques ordinaires.

Le suc de la carotte, de la betterave, de l'oignon, abonde en sucre. A la température ordinaire, ce suc donne les mêmes produits que le jus de raisin; on obtient de l'acide carbonique, un liquide riche en alcool, et le principe azoté du suc se dépose sous forme de lie. A une température plus élevée, de 40 à 45 degrés par exemple, la métamorphose donne des

résultats tout différents : on observe un dégagement de gaz beaucoup plus faible, et il ne se forme plus d'alcool. Si, la fermentation une fois achevée, on examine le liquide, on n'y trouve plus un seul atome du sucre qu'il contenait auparavant. Les éléments de cette dernière substance ont servi à former une quantité considérable d'acide lactique, et en même temps un corps parfaitement semblable à la gomme. Ils donnent en outre naissance à un produit plus remarquable encore que les précédents, c'est-à-dire à une substance cristalline qui, sous le rapport de ses propriétés et de sa composition, est identique avec le principe sucré de la manne.

L'alcool et l'acide carbonique sont les produits que donne la transformation des atomes de sucre à la température ordinaire. L'acide carbonique, la mannite, l'acide lactique et la gomme sont les produits de la fermentation qui s'opère à une température plus élevée.

Nous avons tout lieu de croire qu'à une température supérieure à la température ordinaire, le genre de métamorphose qu'éprouve la substance qui excite la fermentation se modifie, et que cette modification, en changeant la direction suivant laquelle ses atomes se déplacent et se groupent entre eux, détermine de proche en proche le nouvel arrangement des atomes de sucre voisins. En effet, ce n'est pas simplement la chaleur, mais encore la nature de l'agent fermentatif qui fait qu'un seul et même corps donne naissance à des produits différents.

L'acide lactique que l'on trouve dans le lait aigre, provient du sucre de lait. La métamorphose de ce dernier est

déterminée par son contact avec la matière caséeuse en état de transformation sous l'influence de l'oxygène de l'air. Si, après la disparition du sucre de lait contenu dans le liquide, nous en ajoutons une nouvelle quantité, l'acte de la fermentation se continue tant qu'il reste de la matière caséeuse en contact avec le sucre de lait.

Ce mode de fermentation du sucre de lait (sans aucun dégagement de gaz) n'a lieu qu'à la température ordinaire : à 24 ou 30 degrés les produits ne sont plus du tout les mêmes. A cette dernière température, la matière caséeuse acquiert les propriétés du ferment ordinaire, et le sucre de lait subit deux métamorphoses successives. Il commence d'abord par s'emparer d'une certaine quantité d'eau avec laquelle il se combine chimiquement, et par se transformer en sucre de la même nature que le sucre de raisin ; enfin, lorsque cette métamorphose est achevée, il se décompose, au contact de la matière caséeuse, en alcool et en acide carbonique.

Le lait, qui a fermenté à la température ordinaire, fournit, comme produit principal de la décomposition du sucre, de l'acide lactique : à une température plus élevée, il nous donne un liquide alcoolique, et, en distillant ce dernier, nous obtenons un véritable alcool.

Lorsqu'au lieu de ferment, on ajoute à une dissolution de sucre une petite quantité de caséum blanc coagulé, et que l'on y joint un peu de craie afin que le liquide ne cesse pas d'être neutre, il ne tarde pas à s'établir, à une température de 25 à 30 degrés, un très-vif dégagement de gaz, et le sucre disparaît entièrement. Les produits gazeux qui se forment alors sont de l'acide carbonique et de l'*hydrogène*. On trouve en-

core dans le liquide une abondante quantité d'acide *butyrique*, l'un des acides organiques les plus intéressants, que l'on croyait autrefois n'exister que dans le lait ou dans le beurre.

Dans la fermentation ordinaire, l'atome de sucre se divise en deux produits; mais dans la fermentation dont nous parlons, le même àtome se divise en trois produits; car, au lieu d'alcool et d'acide carbonique, nous obtenons de l'acide butyrique, ainsi que du gaz hydrogène et du gaz acide carbonique. Les rapports de ces substances entre elles sont évidents : l'alcool est de l'acide butyrique + de l'hydrogène : l'atome d'acide butyrique est un atome d'alcool qui a perdu deux atomes d'hydrogène.

Dans toute fermentation, on observe des changements dans la nature des produits. Ces changements sont occasionnés, tantôt par une différence de température, tantôt par la présence d'autres matières introduites pendant l'acte même de la métamorphose. Ainsi le même jus de raisin donne des vins dont les qualités et la bonté varient suivant que la température de l'atmosphère est plus élevée ou plus basse à l'époque des vendanges. La qualité, le bouquet et la saveur du vin varient également, suivant la profondeur du cellier et suivant la température qui y règne pendant la fermentation. Un local dont la température reste constamment la même pendant tout le temps de la fermentation, et une fermentation qui marche régulièrement, voilà les conditions les plus favorables pour obtenir un bon vin : ce sont d'ailleurs les plus importantes de toutes celles que l'homme

peut produire à son gré. Quant à la durée de la fermentation, elle ne doit pas être longue. Pour faire fermenter le vin, on doit préférer à toute autre espèce de caves, les caves profondes creusées dans le roc, qui conviennent si bien à la fabrication des bières de qualité supérieure. Les avantages que présentent ces caves tiennent principalement à la constance de leur température.

L'influence que les substances étrangères exercent sur les produits de la fermentation du vin n'est nulle part plus évidente que dans la fermentation du malt de pomme de terre. Tout le monde sait que par la distillation on en retire, outre l'alcool, un liquide oléagineux doué de propriétés vénéneuses et d'un goût ainsi que d'une odeur extrêmement repoussants.

Cette huile empyreumatique n'existe pas toute formée dans la pomme de terre : elle est un produit de la métamorphose du sucre, car on ne l'obtient pas uniquement du malt fermenté de ce tubercule ; elle se produit aussi pendant la fermentation du dernier sirop dans la fabrication du sucre de betterave.

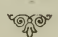
Cette huile empyreumatique, que ses propriétés chimiques rangent dans la même classe que l'alcool, n'est en effet que de l'alcool dont les éléments de l'eau se sont séparés. Pour former deux atomes d'huile empyreumatique, cinq atomes d'alcool se réunissent pendant que six atomes d'eau se séparent.

L'huile empyreumatique constitue aujourd'hui dans les distilleries un produit accessoire assez abondant pour que

l'on puisse l'employer à l'éclairage de ces établissements. Mais cette substance ne se forme jamais dans les liquides en fermentation, à moins qu'ils ne renferment de l'acide tartrique ou du tartrate de potasse (tartre), de l'acide citrique ou certaines substances amères, telles que la lupuline (principe amer du houblon). Cette huile ne se produit guère que dans les liquides alcalins ou neutres, ainsi que dans ceux qui contiennent de l'acide acétique ou de l'acide lactique. On peut empêcher en grande partie sa production en ajoutant au liquide du tartrate de potasse.

Le bouquet et la saveur des vins sont toujours le résultat de combinaisons particulières qui se forment pendant la fermentation. Ainsi les vins vieux du Rhin contiennent de l'éther acétique, et un certain nombre d'entre eux renferment de faibles proportions d'éther butyrique dont la présence leur communique le bouquet et le goût agréables de vieux rhum de la Jamaïque qui les distinguent. Tous les vins contiennent de l'éther œnanthique : c'est à lui qu'ils doivent leur odeur vineuse. Les combinaisons dont il vient d'être question se forment en partie dans l'acte même de la fermentation, et en partie pendant le repos du vin, par l'effet de la réaction des acides sur l'alcool. Il paraît que l'acide œnanthique se produit pendant la fermentation du vin ; car, jusqu'à présent du moins, il n'a pas été rencontré dans la grappe. Les acides libres qui existent dans les sucs en fermentation, contribuent de la manière la plus marquée à la production de ces substances aromatiques : ce qui le prouve, c'est que les vins des pays méridionaux que l'on prépare avec des grappes parfaitement mûres, contiennent, il est vrai,

du tartrate de potasse, mais ne renferment aucun acide organique libre. Or, ces vins ont à peine l'odeur caractéristique du vin, et ne peuvent en rien, sous le rapport du bouquet, soutenir la comparaison avec les vins fins de France ou du Rhin.



LETTRE XIV.

Propriétés de la caséine animale et végétale. — Manière dont la caséine végétale se comporte à l'égard de la salicine. — Saligénine. — Manière dont elle se comporte à l'égard de l'amygdaline. — Formation de l'acide prussique et de l'huile essentielle d'amandes amères. — Action de la caséine végétale sur la graine de moutarde. — Production de l'huile essentielle volatile de moutarde. — Analogie qui existe entre l'action de la caséine et celle du gluten et de la caillette. — Fabrication du fromage. — Propriété que possèdent les agents fermentatifs et principalement la membrane muqueuse de l'estomac, de fluidifier la chair cuite, l'albumine coagulée, etc., etc.

Les propriétés de la caséine animale ordinaire, l'influence que la plus petite de ses particules, quand elle est en état de décomposition et de transformation, exerce sur les molécules de sucre qui se trouvent en contact immédiat avec elle, bien qu'assez remarquables, sont loin cependant de pouvoir être comparées aux propriétés de la caséine végétale qui existe dans le lait d'amande. Comme tout le monde le sait, lorsque l'on pile des amandes douces de manière à les réduire en bouillie, et qu'on verse sur elles de quatre à six fois leur poids d'eau, l'on obtient un liquide qui, par ses propriétés extérieures, offre la plus grande ressemblance avec du lait de vache très-gras. Comme dans ce dernier, l'aspect

laiteux de l'émulsion d'amandes provient de très-petites particules d'huile ou de graisse, qui, par le repos, se séparent du reste du liquide et viennent former à sa surface une couche de crème. Le lait d'amande se coagule comme le lait des animaux, quand on y ajoute du vinaigre, et il aigrit spontanément comme ce dernier, lorsqu'il est abandonné à lui-même pendant un certain temps. Le lait dont nous parlons contient une substance qui est tout à fait analogue, sous le rapport de ses propriétés, à la caséine animale, et qui est tout aussi instable que celle-ci. Dès l'instant où le lait est sorti du pis de la vache, la caséine animale éprouve une altération progressive qui, au bout d'un certain temps, se révèle à nous par la coagulation. Les éléments de la caséine végétale subissent de même une transformation, aussitôt que les amandes douces se trouvent réduites à l'état d'émulsion ou lait d'amande. La caséine des amandes contient du soufre comme la caséine animale, mais elle renferme une plus forte proportion d'azote. C'est à cela peut-être que la caséine animale doit de ne pas se comporter en tous points, comme agent fermentatif, de la même manière que la caséine des amandes. Au reste, elles jouissent toutes les deux des mêmes propriétés relativement à la fermentation du sucre. Ainsi lorsqu'à une dissolution de sucre de raisin (ce sucre est identique avec le sucre d'amidon ou avec la partie solide du miel des abeilles) on ajoute du lait d'amande, ou du son d'amande privé de son huile grasse par l'expression à *froid*, le liquide subit très-promptement une vive fermentation vineuse, si on le place dans un endroit chaud. On en obtient par la distillation une eau-de-vie d'un goût tout

particulier, quoique fort agréable. La caséine animale détermine le même effet; mais celle du lait d'amande provoque dans une foule de combinaisons organiques, dans la salicine et l'amygdaline par exemple, des décompositions et des métamorphoses que la caséine animale ne produit pas.

La salicine est le principe qui communique à l'écorce de saule l'amertume si prononcée que tout le monde lui connaît. Cette écorce lui doit de plus la propriété qu'elle a de se colorer en rouge carmin, lorsqu'on y fait tomber quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. On extrait facilement cette substance en traitant l'écorce de saule par l'eau. A l'état de pureté parfaite, la salicine se présente sous forme d'aiguilles blanches, fines, longues et soyeuses. Comme le sucre, elle ne contient pas d'azote; mais la composition de son atome est beaucoup plus complexe.

Lorsqu'on met de la salicine dans du lait d'amande, l'amertume qui est propre à cette substance s'évanouit très-promptement et fait place à une saveur douce. Dès lors la salicine a complétement disparu, en donnant naissance à du sucre de raisin et à un nouveau corps qui diffère entièrement de la salicine : ce corps est la saligénine. Le sucre et la saligénine contiennent les éléments de la salicine. Sans que rien s'y ajoute ou en sorte, un atome de salicine, en contact avec la caséine du lait d'amande, se décompose donc en un atome de sucre et en un atome de saligénine.

La manière dont cette caséine se comporte à l'égard de l'amygdaline est encore bien plus remarquable. Jusqu'au moment où l'amygdaline a été découverte dans les amandes amères dont elle constitue l'un des éléments, et tant que la

manière dont cette substance se comporte à l'égard de la caséine végétale a été ignorée, les produits particuliers fournis par les amandes amères ont été, pour les chimistes, une énigme qu'ils désespéraient presque de résoudre.

En soumettant à la distillation aqueuse des amandes amères finement pulvérisées, on obtient un liquide d'une odeur forte, rendu laiteux par une multitude de gouttelettes oléagineuses qui s'y trouvent en suspension; mais peu à peu ces gouttelettes gagnent le fond du vase et y forment une couche d'huile. Cette substance grasse est une huile volatile plus pesante que l'eau; son odeur est extrêmement pénétrante et sa saveur est analogue à celle des amandes amères. Elle se distingue encore par la propriété qu'elle possède de s'emparer de l'oxygène de l'atmosphère, lorsqu'on l'expose au contact de l'air, et de se transformer en cristaux inodores d'acide benzoïque. Outre cette huile volatile d'amandes amères, qui constitue aujourd'hui un article de parfumerie qu'on trouve en abondance dans le commerce, le liquide qui surnage contient encore une quantité notable d'acide prussique.

L'acide prussique et l'huile dont il vient d'être question sont deux produits de la distillation des amandes amères par l'eau; mais il est absolument impossible de démontrer leur présence sous cette forme, dans ces amandes. En effet, si ces deux substances existaient déjà toutes formées dans le fruit, comme l'essence de térébenthine dans la résine du pin, ou comme l'essence de rose dans les pétales de cette fleur, il y aurait lieu de supposer que l'on peut, comme on le fait pour ces dernières, les extraire au moyen d'huiles

fixes ou d'autres corps susceptibles de les dissoudre; mais l'huile fixe, qu'il est d'ailleurs facile d'obtenir, par expression, des amandes amères, est précisément aussi douce et aussi insipide que l'huile qui provient des amandes douces : on n'a pas pu y découvrir la moindre trace d'acide prussique ou d'huile volatile d'amandes amères, quoique cet acide et cette huile se dissolvent avec facilité dans l'huile fixe. Lorsque l'on fait bouillir les amandes amères avec de l'alcool, on ne trouve également dans ce liquide aucune trace soit d'acide prussique, soit d'huile volatile d'amandes amères; mais, en faisant évaporer l'alcool, on obtient de beaux cristaux blancs (amygdaline) qui se dissolvent facilement dans l'eau et lui communiquent une saveur faiblement amère. Ce corps cristallin se distingue essentiellement du sucre et de la salicine par l'azote qu'il contient, en faible proportion, il est vrai, mais d'une manière constante. Ou l'acide prussique et l'huile d'amandes amères doivent leur origine à ce dernier corps, ou bien les substances inconnues qui les produisent ont dû s'être transformées en amygdaline sous l'influence de l'alcool : telle est la conclusion à laquelle s'est trouvé conduit l'auteur de la découverte de l'amygdaline. Or, comme il ne trouvait pas la clef du problème, il attribua, ainsi que cela arrive fréquemment, la production de l'amygdaline ou sa transformation en acide prussique et en huile d'amandes amères au concours d'une entité insaisissable, incompréhensible, qui par sa nature échapperait à nos moyens d'observation.

Aujourd'hui cependant tout cela s'explique de la manière la plus simple. On a reconnu que lorsqu'on mêle ensemble

une dissolution aqueuse d'amygdaline avec du lait d'amande frais, il s'opère en peu d'instants une décomposition, et que, par suite d'un nouveau mode de groupement, l'atome d'amygdaline se partage en acide prussique, en huile volatile d'amandes amères, en sucre, en acide formique et en eau : car les éléments (en tout 90 atomes) qui composent ces substances se trouvent tous réunis en un seul groupe dans l'atome d'amygdaline.

C'est, jusqu'à un certain point, de la quantité d'eau qui se trouve contenue dans le mélange que dépend la quantité d'amygdaline qui se décompose alors sous l'influence de la caséine végétale pour produire les combinaisons que nous venons de nommer. S'il y a dans le mélange assez d'eau pour dissoudre tous les produits qui se forment aux dépens de l'amygdaline, celle-ci se décompose en totalité; sinon elle ne se décompose qu'en partie. Pour se dissoudre, l'huile volatile d'amandes amères a besoin de 30 parties d'eau : les autres produits en exigent moins. Lorsqu'on ajoute au lait d'amande une quantité d'amygdaline suffisante pour que la proportion d'huile d'amandes amères produite ne dépasse pas le trentième de celle de l'eau, l'amygdaline disparaît entièrement; si l'on ajoute encore de l'amygdaline au mélange, cette nouvelle quantité n'éprouvera aucune espèce de modification. On voit que l'affinité chimique de l'eau (sa puissance dissolvante) joue un rôle dans ce phénomème de décomposition : l'attraction que l'eau exerce sur l'un des produits est l'uue des causes qui concourent à la métamorphose de l'amygdaline. Or, comme la substance blanche des amandes amères est tout à fait identique avec la caséine des amandes douces,

on comprend que la persistance de l'amygdaline dans les amandes tient uniquement à la faible proportion d'humidité qu'elles renferment. A en juger seulement d'après les produits qu'elle donne, l'amande contient une quantité d'amygdaline correspondante à la petite quantité d'eau qui se trouve dans sa pulpe. Mais quand, après l'avoir parfaitement broyée, on mêle la substance de l'amande avec une plus grande quantité d'eau, quand on la transforme en lait d'amande, par exemple, la proportion d'amygdaline diminuera en raison de la quantité d'eau ajoutée, jusqu'à ce qu'enfin elle finisse par disparaître entièrement, si l'on continue à ajouter de l'eau.

La manière dont l'amygdaline ainsi que la substance blanche et caséiforme de l'amande se comportent, acquiert un intérêt encore plus vif, lorsque l'on considère que la présence de l'amygdaline dans l'amande est un fait accidentel dépendant de l'emplacement occupé par l'arbre qui a produit le fruit. Entre deux arbres dont l'un porte des amandes douces et l'autre des amandes amères, les botanistes n'ont trouvé aucune différence appréciable. L'on possède des exemples où le simple déplacement a suffi pour faire produire des amandes douces à un arbre qui n'en donnait auparavant que d'amères. C'est assurément là un des exemples les plus intéressants de l'influence exercée par certains éléments du sol sur les phénomènes vitaux des plantes.

L'iufluence que la présence de l'eau exerce sur l'existence de certaines combinaisons organiques, ressort suffisamment des faits que je viens d'exposer. Cependant il en existe en-

core une foule d'autres qui offrent trop d'intérêt pour que nous puissions les passer sous silence.

Personne n'ignore que la farine de moutarde noire délayée dans l'eau, forme au bout de quelques minutes une pâte qui, mise en contact avec la peau, l'irrite vivement et peut même déterminer la vésication. Cette propriété dépend d'une huile volatile que l'on peut se procurer comme l'huile d'amandes amères, au moyen de la distillation Cette huile renferme du soufre, mais elle ne contient pas d'oxygène.

C'est à cette huile que la moutarde servie sur nos tables doit son odeur et son goût. Lorsque ce liquide est à l'état de pureté, son âcreté est épouvantable.

Dans la graine de moutarde, il n'en existe pourtant pas la moindre trace : l'huile fixe qu'on obtient, par expression, de cette graine, est douce et sans âcreté. L'huile volatile tire son origine d'un corps riche en soufre et en azote, et dépourvu de toute âcreté, mais qui, par l'effet de la caséine contenue dans la graine, éprouve une transformation instantanée dès qu'on le met en contact avec une suffisante quantité d'eau. L'huile volatile est l'un des produits nouveaux qui naissent alors des éléments de ce corps.

La caséine des amandes et des graines de moutarde n'est pas la seule qui, par suite de la métamorphose qu'elle éprouve instantanément au contact de l'eau, détermine la décomposition des autres éléments contenus dans ces semences; nous voyons la caséine végétale se comporter de la même manière à l'égard des principes composés sulfurés et azotés qui existent dans presque toutes les semences végé-

tales, et spécialement à l'égard du gluten que renferment les diverses espèces de céréales.

Les farines de seigle et de froment, ainsi que d'autres espèces de farine, lorsqu'on les mélange avec vingt fois leur volume d'eau à 75 degrés, fournissent une colle épaisse qui, au bout de quelques heures d'exposition à la même température, devient liquide et acquiert une saveur très-douce. Ce phénomène tient à ce que l'amidon de la farine s'est emparé d'une certaine quantité d'eau et s'est transformé, par l'effet d'un nouveau mode de groupement de ses atomes, en une espèce de gomme d'abord, et puis en sucre de raisin. Cette transformation est déterminée par le fait même de la décomposition du gluten. La liquéfaction de la pâte, dans la préparation du pain, dépend de la même cause.

La germination des céréales s'accompagne également d'une formation de sucre. Sous l'influence des molécules voisines du gluten, tout l'amidon contenu dans les grains du froment, du seigle, de l'orge, se transforment en sucre à mesure que le germe se développe. Le gluten lui-même acquiert des propriétés tout à fait différentes; il devient soluble dans l'eau comme l'amidon. Lorsque l'on chauffe jusqu'à l'ébullition l'extrait aqueux de blé germé (malt) que l'on appelle moût dans les brasseries, il se sépare alors une certaine quantité de ce gluten devenu soluble. Dans cet état, il n'est pas possible de distinguer le gluten d'avec l'albumine animale coagulée, tant sous le rapport des propriétés que sous celui de la composition. L'autre partie du gluten qui reste dissoute dans le moût, y existe dans le même état que le principe sulfuré et azoté que contient le jus de raisin et

dont la composition est analogue à celle du gluten. Pendant la fermentation de la bière, ce gluten se dépose à l'état de lie qui, sous le rapport de la forme et des propriétés, ne diffère pas de la lie du vin.

Dans les organismes vivants nous observons, sur une grande échelle, des phénomènes semblables qui dépendent de causes tout à fait identiques ou au moins analogues. A l'époque de l'automne, beaucoup de plantes contiennent, déposée dans la substance ligneuse, une matière parfaitement semblable à la fécule des pommes de terre ou des graminées; mais au printemps, cette matière se transforme en sucre à mesure que la vie se ranime dans les végétaux. La sève ascendante de l'érable est si riche en sucre que, dans les pays où il existe des forêts de ces arbres, on la recueille pour en extraire du sucre. Nous avons tout lieu de croire que ce sucre est le résultat d'une transformation semblable à celle qui produit le sucre des graines en germination.

La dulcification, c'est-à-dire la maturation des fruits d'hiver dans nos fruitiers, est le résultat d'une véritable fermentation. Les pommes et les poires vertes renferment une proportion considérable de fécule qui se transforme en sucre sous l'influence de la décomposition du principe azoté que renferme le suc de ces fruits.

Tout récemment Redtenbacher a trouvé qu'il se produit de l'acide formique pendant la fermentation des feuilles et des jeunes pousses d'une espèce de pin. Cette découverte offre d'autant plus d'intérêt que, très vraisemblablement, elle nous expliquera l'existence de cet acide dans les fourmis, notamment dans les espèces qui se nourrissent de sub-

stances dans lesquelles il est impossible de le découvrir.

La peau des animaux, la membrane muqueuse de l'estomac et des intestins, la substance de la vessie urinaire, possèdent une foule de propriétés communes avec le gluten et le ferment. A l'état frais, ces substances n'exercent pas la moindre action sur l'amidon ou le sucre de lait; mais, après quelques heures seulement de séjour dans l'eau ou de contact avec l'air atmosphérique, elles éprouvent un état de décomposition qui les rend capables de transformer avec une rapidité extraordinaire l'amidon en sucre et le sucre de lait en acide lactique.

Depuis un temps immémorial on a mis à profit cette propriété de la membrane muqueuse des jeunes veaux pour coaguler le lait destiné à la préparation du fromage, ou, ce qui revient au même, pour provoquer la séparation du caséum des autres éléments du lait.

La caséine doit sa solubilité dans le lait à la présence de phosphates et d'alcalis libres. Il est facile de constater l'existence de ces substances dans le lait frais : il suffit d'y tremper un papier rouge de tournesol qui bleuit immédiatement. L'addition d'un acide quelconque, susceptible de s'emparer de l'alcali, force la caséine à se séparer dans son état naturel d'insolubilité. Pour faire le fromage, il n'est pas nécessaire d'ajouter un acide au lait afin de le faire coaguler : car, dans le lait doux, il se forme spontanément un acide qui se produit aux dépens du sucre de lait. Une petite quantité d'eau, laissée pendant une heure ou une nuit entière en contact avec un faible lambeau de caillette, n'enlève qu'une quantité à peine appréciable de la membrane muqueuse en

décomposition. Cependant, si on mélange cette eau avec du lait, la décomposition se propage, ce qui est ici le fait capital, non à la matière caséuse, mais au sucre de lait dont les éléments se transforment en acide lactique, lequel neutralise l'alcali et détermine la séparation du caséum. Le papier de tournesol permet de suivre ce phénomène dans toutes les phases de son développement. Ainsi la réaction alcaline du lait cesse au moment où la coagulation commence; le caséum n'est pas plus tôt séparé du petit lait, que la production de l'acide lactique continue; le liquide devient acide et le caséum lui-même entre en décomposition.

Le caséum frais, blanc et soigneusement débarrassé, par l'expression et par une addition de sel, de l'eau et du sucre de lait qu'il renferme, est constitué par un mélange de beurre et de caséine; il contient tout le phosphate de chaux et une partie du phosphate de soude du lait. Conservé dans un endroit frais, le caséum éprouve une série de modifications à la suite desquelles il acquiert des propriétés toutes nouvelles : il devient peu à peu transparent, se ramollit plus ou moins dans toute l'épaisseur de la masse, et acquiert une réaction faiblement acide en même temps que l'odeur particulière au fromage. Quand il est frais, il est très peu soluble dans l'eau; mais, quand il a été abandonné à lui-même pendant deux ou trois ans, l'eau froide, surtout lorsque la matière grasse a été préalablement enlevée, le transforme presque complétement en un liquide qui, comme le lait, est coagulable par l'acide acétique et les acides minéraux. Lorsque le fromage se fait, le caséum insoluble revient à un état analogue à celui où il se trouvait dans le lait. Dans les fromages à peu près sans

odeur d'Angleterre, de Hollande, de Suisse, et dans les meilleures espèces de fromages français, la caséine n'a subi aucune altération et s'y trouve au même état que dans le lait : l'odeur et le goût de ces fromages proviennent du beurre qui s'est décomposé. L'acide margarique et l'acide oléique qui sont les acides fixes du beurre, et ses acides volatils, l'acide butyrique, l'acide caprique et l'acide caproïque, deviennent libres par suite de la décomposition de la glycérine.

C'est l'acide butyrique qui communique au fromage l'odeur qui lui est propre. Les différences de saveurs fortes, piquantes et aromatiques que présente le fromage, dépendent de la proportion d'acides butyrique, caprique et caproïque libres.

Le passage de la caséine de l'état insoluble à l'état soluble tient à la décomposition du phosphate de chaux par l'acide margarique du beurre : il se produit du margarate de chaux, tandis que l'acide phosphorique se combine avec la caséine en formant avec elle un composé soluble dans l'eau.

Dans les qualités inférieures de fromages, notamment dans les fromages maigres, l'odeur provient de produits sulfurés fétides qui se forment par la décomposition (putréfaction) de la caséine. Le commencement d'altération éprouvée par le beurre (dans le phénomène de décomposition qu'on nomme ici rancissure), ou par le sucre de lait qui existe encore, se propage à la caséine, ce qui, comme il est facile de le concevoir, modifie les propriétés nutritives de cette dernière en altérant sa composition. Pour obtenir les qualités supérieures de fromages, les principales conditions (nous

supposons les autres observées) consistent à enlever soigneusement le sucre de lait (le petit-lait), et à soumettre le fromage à une température peu élevée pendant le temps de sa maturation. La qualité si estimée des fromages de Roquefort, qui se préparent avec du lait de brebis, dépend exclusivement du local dans lequel, après les avoir exprimés, on les place pour les laisser se faire. On les met dans des caves communiquant avec des fentes ou des creux de rochers et maintenues à une température très-fraîche (5 ou 6 degrés) par les courants d'air qui s'échappent de ces fissures. Le prix de ces caves varie extraordinairement suivant leur température. Giron [1] rapporte qu'une cave, dont la construction n'avait pas coûté plus de 12,000 fr., se vendit 225,000 fr. Ce prix peut être considéré comme une preuve tout à fait décisive de l'influence exercée par la température sur la qualité des fromages.

Les différences de goût et de saveur que présentent les diverses espèces de fromages, dépendent du mode de préparation, de l'état de la présure, de la quantité de sel ajoutée et des conditions atmosphériques qui règnent pendant toute la durée de l'opération. Il est certain que les végétaux qui servent à la nourriture des animaux, notamment les plantes aromatiques, ne sont pas tout à fait sans influence sur la qualité du fromage; mais cette influence est très-secondaire. Malgré l'énorme différence que le lait de vache présente dans sa composition au printemps, dans l'été et dans l'automne, les fromages préparés dans la même localité n'en éprouvent pas

[1] *Annales de chimie et de physique*, t. XLV, p. 371.

une modification bien sensible dans leur qualité. La même prairie ne pourrait pas fournir, dans des saisons différentes, des fromages de qualité identique ou analogue, si la nature des végétaux jouait réellement ici un rôle essentiel; car le lait provient de plantes dont le développement et la floraison ont lieu à des époques différentes de l'année. Je me suis assuré que le mode de fabrication des fromages diffère complétement à Chester de ce qu'il est dans le Glocestershire, et qu'à son tour le fromage de Glocester ne se prépare pas comme le fromage de Stilton.

Indépendamment de la faculté qu'elles ont de transformer le sucre de lait en acide lactique, la caillette des jeunes veaux et la membrane muqueuse stomacale des animaux en général possèdent encore la propriété, avec l'aide d'un peu d'acide chlorhydrique, de rendre solubles, c'est-à-dire de liquéfier, les matières animales solides. Les phénomènes que l'on a observés à cette occasion, ont jeté une lumière inattendue sur l'acte de la digestion chez les animaux vivants. Cette propriété de liquéfier les substances organiques appartient à tous les agents de fermentation à une certaine phase de leur transformation. On a déjà pu s'en faire une idée quand j'ai parlé de l'action de l'extrait de malt et de l'action du gluten sur la fécule : mais cette propriété existe à un degré bien plus élevé de puissance dans la membrane muqueuse de l'estomac. Ainsi, lorsqu'on laisse pendant quelques heures un petit lambeau de caillette dans de l'eau chaude aiguisée d'une quantité d'acide chlorhydrique assez faible pour ne lui communiquer qu'une saveur acide à peine sensible, on obtient un liquide qui agit exactement sur la

chair cuite, sur le gluten et sur l'albumine coagulée, comme le fait le suc gastrique dans l'estomac vivant. Au reste, ce dernier offre également une réaction acide qui est due, comme dans le liquide de cette digestion artificielle, à la présence de l'acide chlorhydrique. Plongée dans ce liquide et soumise à une température de 37 degrés (température de l'estomac), la chair musculaire ou l'albumine coagulée prend très rapidement, sur ses bords, un aspect muqueux et transparent. Quelques heures suffisent pour que ces substances se trouvent entièrement transformées en un liquide rendu légèrement trouble par de petites gouttelettes de graisse. La puissance dissolvante que l'acide chlorhydrique possède par lui-même, se trouve accrue à un tel point par la présence d'un lambeau à peine pondérable de membrane muqueuse stomacale en état de transformation, que la dissolution s'accomplit alors cinq fois plus vite que dans l'acide chlorhydrique seul. Les physiologistes de nos jours ont démontré qu'à chaque digestion la membrane interne la plus superficielle de l'estomac, l'épithélium, se détache tout entière. Il est indubitable que le substance de cette membrane, se trouvant en contact avec l'oxygène de l'air que la salive apporte à l'estomac emprisonné dans les cellules de son écume, éprouve une modification dont le résultat doit être la dissolution et la liquéfaction, aussi promptes que possible, des matières contenues dans l'estomac.

On a cru pendant longtemps que la propriété dont jouit la membrane muqueuse stomacale d'augmenter la puissance dissolvante d'un liquide additionné d'acide chlorhydrique, dépendait de la présence, dans ce liquide, d'une substance

particulière, d'une espèce de substance digestive. La même opinion a été professée à l'égard de la matière contenue dans l'extrait de malt, sous l'influence de laquelle l'amidon se transforme en sucre. Ces substances ont même reçu des noms particuliers : ainsi on appelle la première papsine et la seconde diastase. Mais les matières que l'on désigne sous cette dénomination ne sont autre chose que la partie de la membrane muqueuse ou du gluten qui est en voie de décomposition : comme cela a lieu pour le ferment, les effets de ces substances dépendent uniquement de l'état dans lequel elles se trouvent.

Avec un lambeau de membrane muqueuse gastrique à un certain état de décomposition, nous pouvons dissoudre une foule de substances animales. Avec le même lambeau, entré dans une autre phase, nous transformons l'amidon en sucre, et nous convertissons le sucre en acide lactique, en mannite et en mucus, ou bien en alcool et en acide carbonique. Il en est de même de l'extrait aqueux du malt frais : en quelques minutes, il convertit la colle d'amidon en sucre de raisin ; mais, au bout de peu de jours, il perd cette propriété et acquiert en revanche celle de transformer le sucre de raisin en acide lactique, en mannite et en gomme. Au bout de huit à dix jours, cette dernière propriété s'évanouit encore complétement ; l'extrait devient trouble, et, si on le met alors en contact avec du sucre, il décompose l'atome de sucre en alcool et en acide carbonique.

Quand on comprend la véritable signification des phénomènes dont nous venons de parler, on reconnait que les transformations et les décompositions qui s'opèrent dans

l'acte de la fermentation sont déterminées par une substance dont les molécules se trouvent elles-mêmes dans un état particulier de métamorphose et de mouvement. Ce mouvement, en se communiquant de proche en proche à toutes les molécules en repos du corps composé, détermine, dans l'équilibre de l'attraction chimique, une vive perturbation sous l'influence de laquelle les éléments et les atomes changent de place pour donner naissance à un ou à plusieurs groupes nouveaux.

Nous observons que les produits qui se forment pendant la fermentation varient suivant la température et suivant l'état de métamorphose dans lequel se trouvent les molécules du corps qui provoque la fermentation. Il est évident, en effet, que le nouveau mode de groupement des atomes qui détermine la nature et les propriétés des nouveaux produits, doit être exactement en rapport avec la nature, la direction et l'intensité de l'impulsion qui met ces atomes en mouvement.

Toute substance organique, dès qu'elle est en voie de décomposition, constitue un agent de fermentation, ou, en d'autres termes, un ferment. Une fois la métamorphose commencée dans un atome organique, elle se propage à ceux qui ne possèdent pas en eux-mêmes une force de résistance suffisante, c'est-à-dire qui ne peuvent pas rester immobiles en présence de l'impulsion qui leur est communiquée. La chair musculaire, le sang, la bile, l'urine, la membrane muqueuse gastrique en putréfaction, partagent avec les substances qui entrent dans la composition des parties solides ou liquides des végétaux, la faculté d'exciter la fermentation. Cette caté-

gorie comprend tous les atomes de constitution complexe qui se décomposent spontanément au simple contact de l'eau ou de l'oxygène. Seulement chacune de ces substances produit de son côté des effets particuliers, et se distingue essentiellement par-là des autres substances analogues. L'action particulière et caractéristique qu'exerce chaque substance, est intimement liée à sa composition. Ainsi, la caséine végétale des amandes agit sur l'amidon et le sucre absolument de la même manière que le gluten et la levure de bière; mais ces deux dernières substances n'ont pas la faculté de convertir la salicine en saligénine et en sucre, et de transformer l'amygdaline en acide prussique et en huile d'amandes amères. De même les membranes animales acquièrent, dans certains états, toutes les propriétés de la caséine animale en fermentation; mais cette dernière n'exerce pas d'influence sensible sur la puissance dissolvante de l'acide chlorhydrique, non plus que sur la fluidification de l'albumine cuite et de la chair musculaire.

Tous les phénomènes de la fermentation, si on les considère dans leur ensemble, confirment le principe émis déjà depuis longtemps par Laplace et par Berthollet, à savoir : *qu'un atome (molécule) mis en mouvement par une force quelconque peut communiquer son propre mouvement à un autre atome qui se trouve en contact avec lui*. C'est une loi de dynamique dont la généralité embrasse tous les cas où la résistance (*force vitale, affinité, force électrique, force de cohésion*) qui s'oppose au mouvement, ne suffit pas pour l'arrêter.

Si nous envisageons cette loi comme cause de la forme

que prennent les combinaisons chimiques et des changements qui s'opèrent dans leurs propriétés, nous reconnaîtrons qu'elle constitue l'acquisition la plus importante et la plus durable que la science doive à l'étude de la fermentation.



LETTRE XV.

La résolution des substances organiques en leurs éléments primitifs est une véritable combustion. — Le blanchiment des étoffes par l'exposition à l'air est une application industrielle de ce phénomène. — Fabrication de la bière et du vin. — Formation du vinaigre.

Comme nous l'avons dit dans la lettre précédente, la cause primitive et en même temps la plus importante de toutes les métamorphoses et de tous les changements éprouvés par les atomes organiques, est l'action chimique que l'oxygène exerce sur eux. La fermentation et la putréfaction ne s'établissent qu'à la suite d'un commencement de décomposition : elles cessent avec l'établissement d'un nouvel état d'équilibre. Lorsque l'oxygène se combine avec l'un des éléments du corps organique, l'état primitif d'équilibre qui existait dans l'attraction réciproque de tous les éléments se trouve détruit. Le corps organique se décompose alors; mais par suite de la compensation qui s'établit entre les attractions de tous les éléments, il se reforme en une série de produits nouveaux qui n'auront aucune modification ultérieure à subir dans leurs propriétés, pourvu que de nouvelles causes de perturbation et de changement ne viennent pas à agir sur eux.

Mais quand bien même l'action chimique que les éléments des atomes organiques peuvent exercer les uns sur les autres dans la fermentation et la putréfaction , se répartiraít de manière à ce qu'il s'établît un état parfait de repos entre les attractions mutuelles des nouveaux produits, il existerait toujours une attraction spéciale entre ceux-ci et l'oxygène. En effet, l'action chimique de ce dernier ne cesse que lorsque l'aptitude que possèdent les éléments de ces composés nouveaux à s'unir avec lui, se trouve épuisée. L'action chimique de l'oxygène n'est pas autre chose que la tendance de ce corps à entrer en combinaison. Or, la neutralisation de cette tendance ne peut évidemment avoir lieu qu'à partir du moment où l'action de l'oxygène a donné naissance à des produits absolument incapables de s'emparer d'une nouvelle quantité de ce gaz : c'est donc alors seulement que les attractions respectives des éléments de ces produits seront en équilibre avec celles qu'ils ont pour l'oxygène.

La fermentation et la putréfaction représentent la première phase du retour des atomes organiques à un état de combinaison plus simple : le cercle se trouve complété par le passage des produits de la fermentation et de la putréfaction à l'état de combinaisons aériformes. Les éléments des substances organiques, carbone et hydrogène, qui, avant de prendre part aux phénomènes vitaux, étaient des combinaisons oxygénées, reviennent à leur état primitif, c'est-à-dire reprennent leur forme de combinaisons oxygénées. La résolution des éléments qui constituaient les corps organiques est un véritable phénomène de combustion qui s'opère à la température ordinaire, combustion pendant laquelle les pro-

duits de la fermentation et de la putréfaction des plantes et des animaux se combinent peu à peu avec l'oxygène de l'air.

Nul organisme, nulle partie d'un animal ou d'une plante n'est capable, lorsque la vie s'est éteinte, de résister à l'action chimique que l'air et l'humidité exercent sur elle; car, avec la mort s'évanouit toute la force de résistance que l'organisme possédait d'une manière passagère en qualité de support et d'intermédiaire des manifestations vitales : ses éléments retombent sous l'empire exclusif des forces chimiques.

A mesure que les forêts vierges de l'Amérique s'éclaircissent, à mesure que l'air trouve un accès plus facile pour arriver jusqu'aux débris de végétaux dont le sol est couvert, l'état de ce dernier change insensiblement; au bout d'un certain nombre d'années, il n'y reste plus de traces de ces débris. Au temps de Tacite, la surface de la Germanie entière était couverte d'une forêt impénétrable : son sol devait donc alors offrir le même état que la terre végétale des forêts vierges de l'Amérique; mais maintenant tous ces produits de la vie végétale ont complétement disparu. Le sol est rempli des débris de milliards de testacés et d'autres animaux, débris qui forment des couches immenses. Après la mort, les cadavres de ces animaux sont tombés en fermentation et en putréfaction et, sous l'action incessante de l'atmosphère, se sont transformés en combinaisons aériformes; quant aux coquilles ou aux os des animaux, en un mot, quant aux éléments qui ont pu résister à la destruction, ils restent là pour témoigner du mouvement éternel de la vie qui s'éteint et renaît sans cesse.

Ce n'est que dans les lieux où l'oxygène n'a pas du tout d'accès ou bien n'arrive qu'avec peine, comme dans les couches de tourbe ou de houille, que nous rencontrons encore dans un état moins avancé de décomposition, les restes encore reconnaissables des végétaux primitifs.

De même que dans la fermentation et la putréfaction, la présence de l'eau et une température appropriée sont des conditions d'une absolue nécessité, pour que l'oxydation qui détermine la décomposition des substances organiques, puisse commencer et s'achever.

La dessiccation ou la congélation est un obstacle absolu au développement de la fermentation et de la putréfaction. La propagation de proche en proche d'un mouvement de décomposition suppose le déplacement et, par conséquent, la mobilité des molécules organiques : l'eau rend possible et favorise cette propagation. Quant à la résolution des atomes en leurs éléments primitifs, elle est accélérée par l'élévation de la température qui facilite la combinaison de ces éléments avec l'oxygène de l'air atmosphérique.

A l'état d'humidité, un certain nombre de matières organiques sont susceptibles de s'emparer de l'oxygène de l'air; mais beaucoup d'autres, et l'on peut même dire la plupart des autres, ne possèdent pas cette faculté.

Lorsque nous mettons dans un vase de la sciure de bois ou du bois humide en contact avec de l'air, toutes les propriétés de cet air changent dans un espace de temps très-court. Ainsi, au bout de deux à trois heures, si l'on vient à plonger dans cet air un morceau de bois en ignition, il s'y éteint absolument comme si on l'eût trempé dans l'eau. Cependant,

si l'on fait cette expérience à l'instant même où l'on vient d'introduire le bois humide, le bois en ignition continue d'y brûler. Une analyse exacte démontre que tout l'oxygène que l'air du vase contenait a disparu, et a été remplacé par un volume égal de gaz acide carbonique. Si l'on enlève cet air chargé d'acide carbonique et qu'on remplisse de nouveau le vase d'air pur, le même phénomène se reproduit, et l'oxygène de l'air se transforme encore en acide carbonique. La modification qui s'est opérée dans l'air, est absolument la même que si nous y avions fait brûler de petits morceaux de bois.

Le pâlissement des couleurs à l'air ou le blanchiment des étoffes dans les prairies est une application industrielle du phénomène de la décomposition organique. Les toiles de lin ou de coton ne sont que des fibres ligneuses plus ou moins colorées par des substances organiques étrangères contenues dans les plantes, ou introduites pendant la fabrication. La surface tout entière de ces toiles, quand on les a imbibées d'eau et qu'on les expose à la lumière solaire, devient immédiatement le siége d'une combustion lente : l'oxygène de l'air qui est en contact avec l'étoffe, se transforme continuellement en acide carbonique. Le poids de l'étoffe va sans cesse en diminuant par le fait de cette combustion. Les matières colorantes disparaissent peu à peu, et avec elles une quantité notable de fibre ligneuse. Cela tient à ce que les éléments de ces substances se combinent avec l'oxygène atmosphérique. Après une action longtemps prolongée de la même influence, l'étoffe perd sa cohérence et se transforme en une matière semblable à la pâte du papier, qui continue à se décomposer

tant qu'elle reste soumise aux conditions qui déterminent son oxygénation, ou, en d'autres termes, sa décomposition.

Les substances azotées se comportent absolument de la même manière que le bois et que les substances non azotées qui constituent le principal élément des végétaux. La chair musculaire fraîche, la levure de bière ou le ferment du vin, deux substances qui sont l'un des premiers produits de la métamorphose que les principes azotés des plantes éprouvent pendant la fermentation, enlèvent à l'air son oxygène, et lui rendent en retour, comme le bois, un volume égal d'acide carbonique. Lorsque l'on exhuma les cadavres qui se trouvaient enterrés dans l'église des Innocents, pour les transporter hors des murs de Paris, la plupart de ces cadavres, jusqu'à la profondeur de soixante pieds, semblèrent transformés en graisse. La peau, les muscles, le tissu cellulaire et tendineux avaient complétement disparu jusqu'aux os; il n'était resté que la graisse, celle de toutes les matières animales qui résiste le plus à la décomposition. Cette graisse se trouvait à l'état d'acide margarique. Aussi en employa-t-on des centaines de quintaux pour fabriquer du savon et de la chandelle. Lorsqu'on tient de la chair musculaire suspendue dans une eau courante ou enfouie dans un terrain humide, il ne reste plus, au bout d'un certain laps de temps, que la graisse qui s'y trouvait contenue.

A l'état humide et à la température ordinaire, toutes les matières en décomposition se comportent à l'égard de l'air absolument de la même manière que si, après les avoir desséchées, on les exposait à la chaleur rouge; elles s'oxydent ou, en d'autres termes, elles brûlent.

L'alcool, autre produit de la fermentation des sucs végétaux qui renferment du sucre, n'est pas comme ces derniers susceptible de se décomposer. Quand on expose au contact de l'air de l'alcool pur ou étendu d'eau, il finit par s'évaporer, mais sans se combiner avec l'oxygène. Au reste, tout le monde sait qu'à une température plus élevée il s'enflamme aisément, et que, par l'effet de cette combustion, il se convertit en oxygène et en eau. Il est évident que ses éléments ont une grande affinité pour l'oxygène : l'élévation de la température est simplement une condition qui favorise la manifestation de cette affinité. Le gaz hydrogène et un grand nombre de corps combustibles se comportent exactement comme l'alcool : ce n'est qu'à un certain degré de chaleur que leur affinité pour l'oxygène se manifeste.

C'est encore dans le phénomène de la décomposition des corps organiques que l'on a reconnu l'influence remarquable qu'une substance en voie de métamorphose exerce sur les molécules qui sont en contact immédiat avec elle, quoique d'ailleurs ces dernières ne soient pas capables de passer spontanément dans le même état.

Ainsi, à la température ordinaire, une foule de substances manifestent de l'affinité pour l'oxygène, dès qu'on les met en contact avec une matière en train de se décomposer. Elles se combinent alors avec l'oxygène de l'air, ce qui leur serait impossible sans l'influence de ce contact, à moins qu'on ne les soumît à une température plus élevée. L'aptitude à absorber l'oxygène que présente un corps organique en voie de décomposition, se communique à toutes les matières qui se trouvent en contact avec ce corps. L'état

particulier d'activité dans lequel se trouve ce corps accroît l'affinité de ces substances pour l'oxygène et favorise leur combinaison avec ce dernier, comme le fait la chaleur. Nous sommes, du reste, à cette heure incapables d'expliquer ce fait. Le contact avec une matière en décomposition est la condition principale qui détermine le passage à un état analogue de décomposition chez toutes les substances organiques qui ne possèdent pas la faculté de se combiner avec l'oxygène à la température ordinaire. Par suite de la combinaison qui s'opère entre leurs éléments et l'oxygène, la température des substances en décomposition s'élève au-dessus de celle du milieu ambiant. Cependant, si considérable que soit l'influence que la chaleur exerce sur l'accélération du phénomène, elle n'est pas, comme dans les autres réactions chimiques, la cause qui développe l'affinité des corps pour l'oxygène.

Lorsqu'on suspend, dans un flacon rempli d'air mélangé d'une certaine quantité d'hydrogène, une bourse en toile pleine de sciure de bois, de soie, ou de terre végétale humide, ces substances continuent, tout comme en plein air, à se décomposer, et transforment en acide carbonique le gaz oxygène contenu dans l'air du flacon. Mais ce qu'il y a de plus remarquable dans cette expérience, c'est que l'hydrogène du mélange disparaît et que, par le simple effet du contact de ces substances en voie de décomposition, il acquiert la propriété de se combiner avec l'oxygène à la température ordinaire Lorsque la quantité d'oxygène est suffisante, tout l'hydrogène se transforme en eau.

Ce que nous disons de l'hydrogène s'applique également

à d'autres gaz combustibles soit simples, soit composés. Ainsi, dans un espace clos renfermant du bois ou d'autres substances organiques en décomposition, la vapeur d'alcool, par exemple, s'empare, comme l'hydrogène, de l'oxygène de l'air, et se transforme en aldéhyde, puis en acide acétique qui, en se condensant en gouttelettes liquides, échappe à l'action ultérieure de l'oxygène. Ce que l'on désigne sous le nom de fabrication instantanée du vinaigre, est tout simplement fondé sur la propriété que possèdent les substances en voie de décomposition, d'augmenter l'attraction de tous les corps organiques et spécialement de l'alcool pour l'oxygène.

Dans l'ancien procédé, où l'on ne ménageait à l'air qu'un accès imparfait, la transformation des liquides fermentés en vinaigre exigeait des semaines et des mois entiers. Aujourd'hui, on est parvenu à transformer en moins de vingt-quatre heures l'alcool en vinaigre. La principale partie de l'opération consiste à faire couler lentement de l'alcool étendu d'eau à travers des tonneaux remplis de copeaux de bois, en même temps qu'un faible courant d'air circule au travers de ces copeaux. Si l'on compare le procédé dont nous parlons avec l'ancien, on voit que la disposition employée dans le nouveau, en multipliant à l'infini la surface de l'alcool, multiplie par la même raison ses points de contact avec l'oxygène, et par conséquent accélère d'autant son oxydation : d'où il suit naturellement que la durée de la décomposition de l'alcool se trouve abrégée dans la même proportion. Au commencement, c'est-à-dire lorsque l'on fait servir pour la première fois les appareils, on ajoute ordinairement à l'alcool de petites quantités de substances facilement dé-

composables, telles que de la levure de bière, du miel, du vin en train de se transformer en vinaigre. Mais la surface du bois ne tarde pas à entrer elle-même en voie d'oxydation; et le bois suffit dès-lors pour transformer l'alcool en vinaigre, sans avoir besoin du concours d'autres substances en voie de décomposition.

Maintenant que nous connaissons la manière dont se comportent les matières organiques en voie de décomposition, nous sommes naturellement amenés à parler de la fabrication de la bière et du vin. La propriété que possèdent la bière et le vin de passer à l'état de vinaigre au contact de l'air, dépend constamment de la présence de substances étrangères qui communiquent aux molécules alcooliques voisines la faculté de s'emparer de l'oxygène de l'atmosphère. Si l'on enlève ces substances, le vin et la bière perdent totalement la faculté de s'acidifier.

Dans le jus de raisin peu riche en sucre, il reste, après l'achèvement de la fermentation et après la conversion du sucre en acide carbonique et en alcool, une quantité notable de principes azotés qui continuent à jouir des mêmes propriétés qu'avant la fermentation. Quant au jus de raisin qui provient des contrées méridionales et qui renferme une grande proportion de sucre, c'est le contraire que l'on observe : une fois que toute la substance azotée s'est complétement séparée sous forme de lie insoluble, il reste encore dans le liquide une certaine quantité de sucre non décomposé. Ces derniers vins ne changent que fort peu au contact de l'air : l'acidification ne se produit que dans ceux d'entre eux qui sont rouges, parce que leur matière colo-

rante s'altère aisément, et joue, au contact de l'air, le rôle de principe azoté.

J'ai déjà dit plus haut que les éléments azotés du jus de raisin qui restent dans le vin après la fermentation, excitent celle du sucre : une fois que le sucre a disparu, ces principes exercent sur l'alcool une action tout à fait semblable à celle du bois en voie de décomposition, c'est-à-dire qu'ils provoquent et favorisent l'acidification de l'alcool.

L'affinité de ces substances pour l'oxygène est très-grande. Dans le court espace de temps qu'exige le transvasement du vin d'un tonneau dans un autre, elles s'emparent de l'oxygène de l'air et déterminent dans le vin un mouvement d'acidification qui continuerait sans interruption, si on ne l'arrêtait pas artificiellement; personne n'ignore que c'est le soufre qu'on emploie pour cela, et qu'on le brûle dans le tonneau destiné à recevoir le vin. L'air du tonneau perd son oxygène, qui est remplacé par un volume égal d'acide sulfureux, et celui-ci est rapidement absorbé par la surface humide du tonneau. Or, l'acide sulfureux possède pour l'oxygène encore plus d'affinité que les agents acidifiants contenus dans le vin. En conséquence, l'acide sulfureux qui a été absorbé par la paroi interne du tonneau se distribue peu à peu dans le vin que l'on vient de transvaser, et enlève aux agents fermentatifs ainsi qu'au vin lui-même, tout l'oxygène qu'ils avaient pris à l'air. De cette manière, le vin repasse à l'état où il se trouvait avant d'être transvasé. On trouve dans le vin l'acide sulfureux transformé en acide sulfurique.

Pendant le séjour du vin dans les tonneaux, il s'opère à travers les parois ligneuses de ces vaisseaux un renouvel-

lement d'air, continu quoique extrêmement lent; en d'autres termes, le vin est dans un contact non interrompu avec une très-faible quantité d'oxygène. C'est pourquoi, au bout d'un certain laps de temps, on voit se déposer sous forme de lie toutes les substances capables d'exciter l'acidification, qui restaient encore dans le vin.

La séparation de la lie de vin ou de bière, durant la fermentation du moût de raisin ou de bière, a lieu à la suite d'une absorption d'oxygène, c'est-à-dire en vertu d'un phénomène d'oxydation qui se passe au sein du liquide en fermentation. Le principe azoté de l'orge n'est point par lui-même soluble dans l'eau; mais, pendant la germination du grain, cette substance devient soluble dans ce liquide; elle acquiert alors la propriété dont la matière azotée contenue dans le jus de raisin jouit dès le principe.

Par le fait de l'absorption de l'oxygène, ces deux substances perdent leur solubilité dans le vin ou dans la bière. D'après les meilleures analyses faites à ce sujet, la lie de vin et celle de bière sont beaucoup plus riches en oxygène que les substances azotées qui leur donnent naissance.

Tant que le liquide contient encore, en même temps que ces substances, des molécules de sucre en voie de fermentation, c'est le liquide lui-même qui, par suite de la décomposition d'un peu d'eau ou d'une petite quantité de sucre, fournit l'oxygène nécessaire pour convertir en lie ces matières azotées.

Ce phénomène d'oxydation, qui se passe au sein du liquide et qui détermine le dépôt de la lie, cesse du moment où tout le sucre a disparu; mais il se renouvelle lorsqu'on ajoute

du sucre, et que l'on met ainsi le liquide en état de subir une nouvelle fermentation. Il se reproduit encore lorsqu'on laisse la surface du liquide en contact avec l'air; mais, dans ce dernier cas, la séparation des substances azotées s'opère aux dépens de l'oxygène de l'air, et conséquemment par suite de leur décomposition.

J'ai déjà dit que le contact de ces matières azotées avec l'alcool détermine la transformation de ce dernier en acide acétique, lorsqu'on ménage à l'air un accès suffisant. Si cependant, durant le séjour du vin dans les tonneaux où il ne pénètre d'ailleurs qu'une très-petite quantité d'air, l'oxydation se borne à la substance azotée et ne s'étend pas jusqu'à l'alcool, la raison en est uniquement dans l'affinité plus prononcée de la première pour l'oxygène : dans les mêmes conditions, le vin se métamorphoserait en vinaigre, s'il était dans des tonneaux ouverts.

Si nous possédions un moyen pour empêcher l'oxydation de l'alcool, c'est-à-dire sa transformation en acide acétique, tout en donnant un libre accès à l'air ou à l'oxygène, il est évident, d'après ce qui précède, que nous pourrions ainsi, en très-peu de temps, rendre le vin et la bière susceptibles de se conserver indéfiniment, et leur donner, pour ainsi dire, une maturité parfaite. Dans ce cas, en effet, toutes les matières qui provoquent l'acidification du vin et de la bière, se combineraient avec l'oxygène, et se sépareraient du liquide à l'état d'insolubilité. Or, ces substances une fois éloignées, l'alcool perdrait complétement la faculté d'absorber l'oxygène.

L'empirisme pur a réussi à trouver ce moyen, et l'indus-

trie a fondé sur cette découverte, notamment en Bavière, un procédé de fermentation d'une simplicité et d'une sûreté extrêmes, tout à fait conforme aux principes scientifiques, et auquel pourtant on serait à peine arrivé avec le secours de la théorie la plus parfaite.

C'est à une température de 35 degrés que la transformation de l'alcool en acide acétique, sous l'influence du contact d'une substance en voie de décomposition, s'accomplit avec le plus de rapidité. Au-dessous de 35 degrés, l'affinité de l'alcool pour l'oxygène diminue; mais à une température de 8 à 10 degrés du thermomètre centigrade, il ne s'opère plus de combinaison dans ces conditions; cependant la tendance ou l'aptitude que possèdent les substances azotées à attirer l'oxygène se trouve à peine affaiblie, malgré cet abaissement de température.

Le procédé usité en Bavière est basé sur l'observation de ce phénomène. On abandonne le moût de bière à la fermentation dans des cuves larges et ouvertes qui laissent un libre accès à l'oxygène atmosphérique. Ces cuves sont placées dans des celliers dont la température ne dépasse pas 8 à 10 degrés centigrades. Il est évident, d'après cela, qu'il doit se faire alors à l'intérieur du liquide, en même temps qu'à sa surface, un départ des matières capables d'exciter la fermentation. La clarification de la bière est le signe auquel on reconnaît qu'il ne reste plus dans le liquide de matières à séparer, et que par conséquent les causes d'acidification ont disparu avec elles.

Dans la pratique, la séparation parfaite de ces substances dépend de l'expérience et de l'habileté du brasseur. C'est

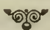
pourquoi l'opération, ainsi qu'il est aisé de le concevoir, ne réussit complétement que dans un petit nombre de cas. Malgré cela, ce procédé de fermentation donne toujours une bière de beaucoup supérieure à la bière ordinaire, sous le rapport de la qualité et de la facilité à se conserver.

L'application rationnelle de ces principes à la fabrication du vin doit évidemment procurer d'énormes avantages. Si ces principes eussent été mieux connus ou plutôt n'eussent pas été inconnus, il est incontestable que la fabrication du vin aurait déjà depuis longtemps retiré de ce procédé de fermentation les services qu'on est en droit d'en attendre. Les vins préparés par cette méthode seraient aux autres vins ce que la bonne bière de Bavière est à la bière ordinaire, quoique l'une et l'autre exigent la même quantité d'orge et de houblon. Au bout de fort peu de temps, le vin serait aussi bien dépouillé et aussi bon qu'il l'est aujourd'hui après plusieurs années de séjour dans les tonneaux. Si l'on fait attention que la préparation du vin a lieu à la fin d'octobre, et par conséquent dans une saison froide, extrêmement favorable à la fermentation de la bière; si l'on considère que la méthode dont nous parlons n'exige pas d'autres conditions que des celliers très-frais et des cuves ouvertes; enfin, si l'on remarque que le vin court, toutes choses égales d'ailleurs, beaucoup moins le risque de s'acidifier que la bière, on ne peut douter que le même procédé appliqué au vin n'offre toutes les chances possibles de succès [1].

[1] Voici ce que l'un des plus intelligents agronomes et vinicoles du Grand-Duché de Bade, M. de Babo, écrivait en avril 1843: « Je puis vous annoncer qu'ayant, l'automne dernier, appliqué a la préparation de mon

La méthode que l'on suit pour faire fermenter le vin dans un grand nombre de localités des environs du Rhin, est tout à fait en opposition avec ces principes. Au lieu de faire fermenter le vin dans des caves fraîches, on le place dans des celliers ouverts et dont le sol est beaucoup trop élevé, ce qui les rend trop chauds; de plus on ferme à l'air toute espèce d'accès, pendant la fermentation, au moyen de tuyaux de tôle remplis d'eau. Considérés comme obstacles à l'introduction de l'air, ces tubes ne peuvent que nuire à la qualité du vin; sous tous les autres rapports, on ne peut y voir que l'invention parfaitement inutile et sans but d'une tête oisive, et une routine que l'on imite sans chercher à s'en rendre compte.

vin rouge le procédé de fermentation bavarois, j'en ai obtenu des résultats aussi avantageux que ceux qu'il donne dans la fabrication de la bière. Nos vinicoles ne peuvent pas comprendre, quelque évidente que soit la chose, qu'une méthode dont les avantages sont si remarquables et si bien constatés à l'égard de la bière, soit également applicable et convenable au vin. » Dans l'automne de l'année 1841, M. de Babo avait fait une expérience qui avait également bien réussi, surtout à l'égard de la couleur. Il avait expérimenté sur du vin rouge. Cependant la fermentation du vin rouge semblait être un écueil contre lequel le procédé pouvait échouer; mais après des résultats aussi favorables, je ne doute pas que le procédé bavarois ne se généralise dans la fabrication du vin, ainsi que dans celle de la bière.



LETTRE XVI.

Action exercée par une chaleur de 100 degrés sur la faculté qu'ont les substances organiques de passer à l'état de fermentation et de décomposition. — Méthode de Gay-Lussac pour conserver les matières organiques. — Hypothèses sur la fermentation et la putréfaction. — Champignons de la levure, cause de la fermentation. — Animalcules microspiques, cause de la putréfaction. — Dégagement d'oxygène qui s'opère dans l'eau où se trouvent des substances organiques. — Expériences de Rumford, de Pfankuch, de Wöhler, de Ch. et A. Morren.

La propriété que possèdent les matières organiques de fermenter et de se décomposer au contact de l'air, puis, une fois dans cet état, de déterminer les mêmes phénomènes dans d'autres substances, disparaît complétement, quand on les soumet à la température de l'ébullition. Cette règle générale ne souffre aucune exception. C'est là assurément la preuve la plus convaincante qu'il soit possible de donner, pour démontrer que le peu de stabilité de ces substances est lié à un certain mode d'arrangement de leurs atomes. Il suffit simplement de se rappeler le fait de la coagulation de l'albumine à la température de l'ébullition pour comprendre comment la chaleur agit dans ce cas. En effet, la plupart des agents fermentatifs ont une composition analogue à celle

de l'albumine, et passent à un état nouveau lorsqu'on les expose à une température élevée.

Quand on laisse quelques instants dans de l'eau bouillante des amandes douces dépouillées de leur enveloppe, leur action sur l'amygdaline se trouve entièrement anéantie. Ainsi l'amygdaline se dissout, sans éprouver la moindre modification, dans une émulsion d'amande que l'on a portée à une température de 100 degrés. Le malt de bière que l'on a fait bouillir, perd complétement la faculté de convertir l'amidon en sucre.

Le lait frais des animaux se prend au bout de 2 ou 3 jours en une masse gélatiniforme que tout le monde connaît. Mais, en le faisant bouillir tous les jours, on peut le conserver indéfiniment sans qu'il se coagule. L'état de décomposition dans lequel la caséine dissoute passe sous la seule influence du contact de l'air, s'arrête tout à fait quand on soumet cette substance à la chaleur de l'ébullition; pour que le mouvement de décomposition puisse recommencer dans la caséine, il faut que l'oxygène agisse fort longtemps sur elle. Il en est de même, non-seulement du moût de raisin qui cependant s'altère avec tant de facilité, mais encore de tout liquide susceptible de fermenter : une température de 100 degrés fait cesser toute fermentation. Lorsqu'on a fait bouillir du moût de bière, on est obligé, si on veut le faire fermenter promptement, d'y ajouter de la levure, c'est-à-dire d'y ajouter une substance qui est déjà en état de décomposition.

Si l'on prend une substance naturellement susceptible de fermenter, de se putréfier et de se décomposer, si on la

laisse, ne fût-ce qu'un instant, exposée au contact de l'air, et si, après avoir, au moyen d'une température de 100 degrés, arrêté le mouvement de métamorphose commencé, on empêche tout accès à l'oxygène qui seul peut déterminer la réapparition de ce mouvement de décomposition, la substance conservera nécessairement, comme il est facile de le concevoir, pendant un laps de temps indéfini, l'état et les propriétés qu'elle possédait au moment où on l'a soumise à la chaleur de l'ébullition. En effet, la matière est par elle-même incapable de se mouvoir spontanément; tant qu'une cause extérieure ne vient pas agir sur les atomes, tous conservent leur place et leur caractère primitifs.

Lorsque l'on remplit une bouteille de moût de raisin, qu'on la bouche hermétiquement et qu'on la fait séjourner quelques heures dans l'eau bouillante, ou du moins jusqu'à ce que le jus du raisin soit à la même température que l'eau, la petite quantité d'oxygène que contient l'air qui reste dans la bouteille, est absorbée, pendant l'action de la chaleur, par les éléments du moût. De cette façon l'altération du moût n'est plus à craindre : désormais il ne fermentera plus; il conservera sa saveur sucrée, et cet état se maintiendra jusqu'au moment où l'on ouvrira la bouteille, c'est-à-dire jusqu'au moment où le liquide entrera de nouveau en contact avec l'air extérieur. Mais, à partir de cet instant, le moût éprouvera les mêmes modifications que le moût récent; en d'autres termes, il se trouvera au bout de quelques heures en pleine fermentation, fermentation que l'on pourra, du reste, interrompre et faire cesser tout à fait, comme la première fois, au moyen d'une nouvelle ébullition.

Ces observations, qui, dans leur généralité, embrassent toutes les matières organiques, sans exception, ont été le point de départ d'applications du plus haut intérêt. Autrefois, dans les longues traversées, la nourriture des marins se bornant aux viandes salées et fumées, la santé de l'équipage et des passagers finissait par souffrir. Des milliers d'hommes ont payé de leur vie la simple privation d'aliments frais dont la nécessité est absolue dans l'état de maladie. Mais aujourd'hui toutes les incommodités et les dangers que présentaient jadis sous ce rapport les voyages sur mer, deviennent de plus en plus rares. C'est là certainement un des plus grands services que la science ait rendus à l'humanité, et c'est à Gay-Lussac que nous en sommes redevables.

A Leith, ville située près d'Edimbourg, à Aberdeen, à Bordeaux, à Marseille, ainsi qu'en Allemagne, il s'est formé des établissements fort importants dans lesquels on prépare, avec les soins les plus minutieux, des soupes, des légumes, des plats de viande de toute espèce qui s'expédient de là dans les contrées les plus éloignées. La préparation une fois terminée, les mets sont introduits dans des boîtes en fer-blanc, et aussitôt on en soude hermétiquement le couvercle. Cela fait, on soumet ces boîtes à une température de 100 degrés dans des appareils appropriés. Lorsque ce degré de chaleur a pénétré la masse entière des substances contenues dans les boîtes, ce qui exige toujours trois ou quatre heures quand on chauffe les boîtes dans l'eau bouillante, ces substances alimentaires ont une durée, on peut le dire, éternelle. Quand, au bout de plusieurs années, on ouvre les boîtes, leur contenu présente absolument le même aspect

qu'au moment de son introduction ; la couleur, l'odeur et le goût de la viande, ainsi que des légumes, n'ont pas subi la moindre altération.

Cette précieuse méthode de conservation des aliments s'est introduite dans une foule de ménages d'Allemagne, à Francfort, à Darmstadt, et nos maîtresses de maison lui doivent de pouvoir, en plein hiver, orner leurs tables des légumes et des mets recherchés qu'il n'était possible auparavant de se procurer que dans d'autres saisons. De toutes les applications dont cette méthode est susceptible, une des plus importantes est sans contredit celle qu'on en peut faire à l'approvisionnement des places fortes. En effet, la perte qu'il faut subir lorsque l'on vend les vieilles provisions de bouche pour les remplacer par des vivres frais, et notamment par de la viande (jambons, etc.), dépasse de beaucoup le prix des boîtes dont nous parlons : d'ailleurs ces dernières peuvent resservir après avoir été bien nettoyées.

Je ne dois point terminer ces longues considérations sur les phénomènes si remarquables qui se produisent après la mort des végétaux et des animaux, sans dire un mot de l'opinion que quelques naturalistes, notamment certains médecins, professent sur les causes qui les déterminent.

Les savants dont nous parlons regardent la fermentation ou la résolution des atomes organiques végétaux en combinaisons plus simples comme l'effet de l'activité vitale de végétaux particuliers, et la putréfaction qui, dans les substances animales, est l'analogue de la fermentation, comme le résultat du développement ou de la présence d'animalcules. D'après eux, la décomposition de l'atome de sucre en

alcool et en acide carbonique a lieu à la suite du développement d'une plante d'ordre inférieur, d'un véritable champignon qui constitue le ferment ; d'un autre côté, ils attribuent la putréfaction des substances animales aux actes vitaux ou au développement d'animalcules microscopiques que l'on rencontre la plupart du temps dans ces substances.

S'il était vrai que ces phénomènes de métamorphose fussent déterminés par le ferment ou par ces animaux, de telle sorte que le sucre servît d'aliment aux champignons du ferment, et que les substances animales en putréfaction servissent de nourriture aux animalcules, voici la conclusion à laquelle on se trouverait nécessairement conduit : ou bien les combinaisons nouvelles formées pendant la fermentation et la putréfaction ont véritablement été produites par les fonctions vitales de ces plantes ou de ces animaux, et peuvent alors se comparer aux excréments liquides, solides et gazeux des végétaux et des animaux supérieurs ; ou bien la force qui maintient la constitution des atomes organiques d'un ordre supérieur est détruite par le contact de ces agents fermentatifs vivants, de sorte que la force vitale qui agit dans ceux-ci, en venant à se déployer vers l'extérieur, trouble l'affinité chimique des atomes organiques et imprime une nouvelle direction à l'attraction des éléments de ces atomes. Mais ces deux explications sont de pures hypothèses : avant d'établir et d'admettre cette théorie de la fermentation, on aurait dû commencer par la vérifier. Il ne suffit pas d'avoir constaté l'existence de champignons ou d'animalcules microscopiques dans des matières en fermentation et en putréfaction pour être en droit d'y voir une explication du phénomène. Il y avait une

question préalable à résoudre : il fallait d'abord s'enquérir de quelle manière ces champignons et ces animalcules sont capables de déterminer les effets qu'on leur attribue. Or, c'est ce que l'on n'a pas encore fait. Avec cette hypothèse, la fermentation et la putréfaction restent donc aussi inexplicables, aussi obscures qu'elles l'ont jamais été.

On devrait la rejeter, quand ce ne serait qu'à cause de la méthode vicieuse qui y a conduit. En effet, il suffit de se rappeler de quelle puissance on gratifiait naguère l'organisme. La chaux, qui entre dans la composition des os et de la coquille de l'œuf des oiseaux, l'acide phosphorique du cerveau, le fer de la matière colorante rouge du sang, étaient regardés comme les produits de l'action exercée par l'organisme sur des substances que l'on ne savait même pas de quel nom désigner ; mais aujourd'hui la présence de ces matières dans l'économie a cessé d'être une énigme depuis que l'on sait qu'elles sont un des éléments constants des substances nutritives. Attribuer à la puissance créatrice de la nature la formation des alcalis que l'on trouve dans les cendres des végétaux, celle des poissons que l'on rencontre dans des lieux qui n'en offraient aucun auparavant, ou bien encore celle des plantes qui se développent dans un sol où l'on n'avait jamais soupçonné la présence d'aucune semence, ce sont là autant d'opinions qui appartiennent à l'enfance de la science et qui sont indignes des naturalistes de notre époque. Leur devoir est de percer l'obscurité qui nous enveloppe, d'y faire pénétrer la lumière, et non de rendre les ténèbres plus épaisses. Que les champignons soient capables de provoquer la fermentation, et, par exemple, de déterminer la décompo-

sition du sucre en alcool et en acide carbonique, c'est là un fait dont on concevrait à la rigueur la possibilité ; mais aucun des champignons que nous connaissons n'offre cette propriété dans l'état vivant. Dans le ferment, la proportion de carbone et d'azote est la même que dans les éléments constitutifs du sang : or, il n'existe pas de champignon qui présente cette composition. Le moût de raisin et le moût de bière ne contiennent pas de ferment ; ce n'est que pendant la fermentation que cette substance se produit. Comment se fait-il donc, si la fermentation est le résultat du développement et de la multiplication de champignons, que le sucre pur entre en fermentation au contact d'un ferment tout formé, puisque celui-ci se compose de champignons dont le développement et la croissance sont arrivés à leur terme ? Comment se fait-il que, dans ce cas, la fermentation soit l'effet, non pas du développement et de la croissance, mais de la mort et de la disparition de ces champignons? La fermentation du vin et du moût de bière n'est point un phénomène isolé et sans connexion aucune : elle n'est qu'un fait parmi les faits sans nombre qui se rapportent à la même classe.

C'est pourquoi l'on n'est point excusable, lorsque l'on part d'observations incomplètes et d'hypothèses tout à fait arbitraires, appuyées sur ce fait unique, pour généraliser cette prétendue cause et l'appliquer à tous les cas possibles.

La caséine animale détermine, comme le ferment, la décomposition du sucre en alcool et en acide carbonique. Le lait d'amande possède absolument la même propriété ; mais à aucune époque, on ne remarque dans ces agents fermentatifs rien qui rappelle la forme des sporules du ferment du

vin et de la bière. On oublie trop que les produits nouveaux qui se forment des éléments des substances en voie de fermentation ou de putréfaction, varient suivant la température et suivant d'autres conditions. On oublie que la décomposition de l'atome de sucre en alcool et en acide carbonique, ou bien en acide lactique, en mannite, en acide butyrique ou en huile empyreumatique, constitue une série de phénomènes qui doivent reconnaître une seule et même cause, et que, dans tous ces cas, les agents de ces divers modes de décomposition n'offrent pas la moindre analogie dans leur forme extérieure avec certaines productions végétales d'un ordre inférieur. Si la fermentation était l'effet d'une activité vitale, les agents fermentatifs devraient nécessairement présenter une forme organisée dans tous les cas où il se produit une fermentation.

Quant à l'opinion qui explique la putréfaction des substances animales par la présence d'animalcules microscopiques, on peut la comparer à celle d'un enfant qui croirait expliquer la rapidité du cours du Rhin en l'attribuant au mouvement violent que les nombreuses roues des moulins de Mayence impriment à l'eau dans la direction de Bingen.

Est-il permis de considérer des plantes et des animaux comme des causes de destruction pour d'autres organismes, lorsqu'eux-mêmes et lorsque leurs propres éléments sont condamnés à subir la même série de phénomènes de décomposition que les êtres qui les ont précédés?

Si le champignon est la cause de la destruction du chêne, si l'animalcule microscopique est la cause de la putréfaction de l'éléphant mort, je demanderai à mon tour quelle est la

cause qui détermine la putréfaction du champignon et de l'animalcule microscopique lorsque la vie s'est retirée de ces deux êtres organisés? Ils fermentent, se putréfient, se décomposent et s'évanouissent eux-mêmes peu à peu, absolument comme l'arbre et l'animal le plus gigantesque : enfin les produits de leur décomposition complète sont les mêmes.

Il n'est pas possible de partager cette opinion, quand on réfléchit que la présence des animalcules microscopiques dans les matières en putréfaction est purement accidentelle, que la plupart du temps on peut empêcher leur développement en interceptant la lumière, que la putréfaction et la décomposition des substances organiques peut s'opérer sans leur intervention, qu'ordinairement on ne rencontre d'animalcule de ce genre ni dans l'urine, ni dans le fromage, ni dans la bile, ni dans le sang en putréfaction, que, dans d'autres cas enfin, ils ne se montrent qu'à une période assez éloignée du moment où la fermentation et la putréfaction ont commencé.

Expliquer la putréfaction par la présence d'animalcules microscopiques, c'est exactement comme si l'on attribuait le fait de la décomposition du fromage ou des excréments animaux, aux vers que nous rencontrons dans le fromage, ou aux coléoptères que nous voyons fouiller ces excréments pour y trouver leur nourriture.

L'existence d'animalcules microscopiques, dont le nombre est souvent si considérable dans les matières en voie de décomposition, n'a rien par elle-même qui doive surprendre, puisque évidemment ces animaux y trouvent réunies toutes les conditions favorables à leur nutrition et à leur dévelop-

pement. Leur apparition dans ces substances n'est pas plus étonnante que les migrations des saumons de la mer dans les rivières, et que la production des plantes salines dans le voisinage des marais salants. La seule différence qu'il y ait dans les deux cas, c'est que dans le dernier nous pouvons nous rendre compte du fait, tandis que les germes des champignons et les œufs des infusoires, à raison de leur extrême petitesse comparée à l'immensité de l'océan aérien dans lequel ils sont disséminés, échappent à notre observation. Nous devons donc découvrir de ces êtres partout où le développement de leurs germes et de leurs œufs ne rencontre aucun obstacle.

Toutefois, il est positif que leur présence hâte extraordinairement la décomposition. En effet, comme ces animaux et ces végétaux microscopiques puisent les aliments nécessaires à leur nutrition et à leur propre développement dans les corps organiques en voie de décomposition, celle-ci doit nécessairement s'accélérer par le fait même de leur présence. Nous savons qu'un seul de ces êtres donne naissance, en fort peu de temps, à des milliers d'individus semblables à lui, et que la croissance de ces milliers d'êtres vivants est renfermée dans de certaines limites. Une fois qu'ils ont atteint un certain volume, ils cessent de croître, sans que pour cela ils cessent de puiser de nouveaux aliments dans les substances au sein desquelles ils se sont développés. Mais que deviennent les matières nutritives qu'ils absorbent, du moment qu'elles ne sont plus employées à leur accroissement ? Ne doivent-elles pas subir dans leur organisme une altération analogue à celle que subit le morceau de viande ou d'os que

nous donnons à un chien adulte, morceau qui, cependant, ne sert pas à augmenter le poids de l'animal ? Nous savons positivement que, dans ce cas, la nourriture du chien est uniquement destinée à entretenir les fonctions vitales, et que les éléments de la substance nutritive se transforment dans son corps en acide carbonique et en urée (un des éléments de l'urine). Nous savons en outre que celle-ci, après son évacuation, se décompose rapidement en acide carbonique et en ammoniaque. Ainsi donc, la substance alimentaire éprouve au sein de l'organisme la même modification que si nous brûlions dans un fourneau, après l'avoir desséchée : elle s'y décompose.

Il en est tout à fait de même de la matière animale en décomposition : elle sert de nourriture aux animalcules microscopiques, et ses éléments se décomposent dans leurs corps. Ces animaux périssent quand l'aliment est consommé : leurs cadavres tombent en putréfaction et en décomposition, et servent peut-être au développement de nouvelles générations d'autres êtres microscopiques. Mais le phénomène, considéré en lui-même, est et demeure toujours un phénomène de combustion, dans lequel les éléments du corps primitif, avant de se combiner avec l'oxygène, font d'abord partie intégrante de l'être vivant qui se les est assimilés, phénomène dans lequel, par conséquent, ces éléments passent par une série de combinaisons intermédiaires avant de se résoudre en composés simples, résultat de la décomposition définitive. Du moment où l'oxygène, après avoir pénétré dans l'économie, se combine avec une molécule quelconque des tissus animaux, cette molécule cesse par cela même d'appartenir

à l'organisme vivant. Pendant la putréfaction proprement dite, c'est-à-dire pendant la décomposition des substances animales, lorsqu'elle a lieu hors du contact de l'oxygène, il se dégage des gaz, tels que l'hydrogène sulfuré, qui exercent une action toxique et mettent rapidement fin à la vie des animalcules microscopiques eux-mêmes. Durant leur période de putréfaction, les excréments humains ne contiennent jamais d'animalcules, tandis qu'ils en renferment une multitude, pendant la période de décomposition ultérieure.

C'est par une loi d'une sage prévoyance que la nature a condamné les cadavres des animaux supérieurs à servir de proie et d'aliment à ce monde d'êtres microscopiques : c'est là le moyen qu'elle emploie pour abréger le plus possible la durée de l'influence délétère que les produits de la putréfaction et de la décomposition exercent sur la vie des animaux qui occupent le haut de l'échelle..

Les découvertes les plus récentes à ce sujet sont si merveilleuses et si extraordinaires qu'elles méritent assurément d'être connues d'un plus grand nombre de personnes. Déjà Rumford avait observé que le coton, la soie, la laine, ainsi que d'autres matières organiques, mises dans un vase rempli d'eau et exposées à la lumière solaire, donnaient lieu, au bout de trois ou quatre jours, à un dégagement de gaz oxygène pur. Dès que les premières bulles de gaz apparaissent, l'eau prend une couleur verdâtre, et laisse apercevoir, à l'aide du microscope, un nombre prodigieux d'animalcules de forme arrondie. C'est à la présence de ces êtres que l'eau doit cette coloration. On ne découvre pas la moindre trace de conferves ou d'autres plantes auxquelles il soit possible d'attribuer

le dégagement de gaz qui s'opère dans cette circonstance.

Ces observations, qui datent de plus de soixante-dix ans, ont été tirées de l'oubli dans lequel elles étaient tombées, par des observations nouvelles. Dans les réservoirs des salines de Rodenberg (Hesse électorale), il se produit un dépôt visqueux, translucide, qui forme sur le sol une couche d'un à deux pouces d'épaisseur, et qui est parsemée d'une multitude de grosses bulles de gaz qui se dégagent aussitôt qu'avec un bâton on déchire l'enveloppe qui l'emprisonne. D'après une analyse de Pfankuch, confirmée par Wöhler, ce gaz est de l'oxygène assez pur pour qu'une allumette en ignition se rallume lorsqu'on l'y plonge. En examinant la matière du dépôt au microscope, Wöhler a constaté qu'elle se compose presque entièrement d'infusoires vivants, appartenant aux genres *Navicula* et *Gaillonella*, que l'on rencontre dans le tuf siliceux de Franzensbad et dans le papier fossile de Freiberg. En calcinant cette matière après l'avoir lavée et desséchée, on a obtenu de l'ammoniaque et une cendre blanche composée des squelettes siliceux des animalcules dont nous venons de parler. La forme de l'animal se trouvait si exactement conservée que, sans l'absence totale de mouvement, on aurait cru avoir encore devant les yeux la matière visqueuse fraîche. Presque à la même époque MM. Ch. et A. Morren[1] ont montré que sous l'influence de l'action organique, il se dégage de l'eau un fluide gazeux contenant jusqu'à soixante et un pour cent d'oxygène, et que ce phénomène doit être attribué à la présence du *Glamidomonas pulvisculus*

[1] Mémoires de l'Académie royale de Bruxelles, 1841.

d'Ehrenberg, et à celle de quelques autres animalcules verts et rouges d'un ordre encore plus inférieur. Afin de m'assurer par moi-même de l'exactitude de ces faits singuliers, j'ai profité de l'occasion que m'offrait pour cela un bassin de mon jardin dans lequel l'eau se trouvait colorée en vert par diverses espèces d'infusoires. Je la passai d'abord à travers un tamis très-fin, pour en séparer les conferves ou les débris de plantes qu'elle contenait ; puis je remplis de cette eau un bocal de verre que je tins renversé, et que je laissai ainsi exposé à la lumière solaire. Au bout de quatorze jours, il s'était rassemblé à la partie supérieure du vase plus de trente pouces cubes de gaz oxygène assez pur pour rallumer une allumette en ignition aussitôt qu'on l'y plongeait.

Sans se permettre de tirer de ce fait la moindre conclusion relativement au mode de nutrition de ces animaux, on peut affirmer néanmoins, d'après ces observations, que l'eau qui, sous l'influence de la lumière solaire, contient des infusoires vivants, est véritablement une source de gaz oxygène extrêmement pur. Il est permis d'affirmer encore que, du moment où la présence de ces êtres est constatée dans l'eau, celle-ci ne peut plus exercer une action nuisible sur les animaux et les plantes d'un ordre plus élevé : car il n'est pas possible d'admettre que du gaz oxygène pur puisse se dégager d'une eau qui renferme encore des matières en putréfaction ou en décomposition, c'est-à-dire des matières qui sont, au contraire, susceptibles de se combiner avec l'oxygène.

Si l'on ajoutait à l'eau dont nous parlons de la matière animale en voie de putréfaction et de décomposition, il est facile de concevoir que, au milieu d'une pareille source

d'oxygène, cette matière devrait se décomposer et se résoudre en ses produits définitifs avec une rapidité beaucoup plus grande que si le liquide ne contenait pas d'infusoires.

En multipliant à l'infini ces animalcules, surtout ceux qui sont colorés en rouge ou en vert, la nature a employé un moyen d'une merveilleuse simplicité pour purifier l'eau de toutes les substances capables de porter atteinte à la vie des animaux supérieurs, et pour substituer à ces substances une matière propre à servir à la nutrition des plantes, ainsi que l'oxygène nécessaire à la respiration des animaux.

Ces animalcules ne sauraient donc être la cause de la putréfaction et de la formation de produits toxiques, c'est-à-dire agissant d'une manière délétère sur la vie des plantes et des animaux : une sagesse infinie, au contraire, les destine à accélérer la décomposition et la destruction définitive des matières organiques en voie de putréfaction.

Parmi les cryptogames, il existe un grand nombre d'espèces qui se développent à l'abri de toute lumière, et dont l'accroissement et les fonctions vitales s'accompagnent de tous les phénomènes qui caractérisent la vie animale. Ainsi ces végétaux vicient l'air et le rendent impropre à la respiration, parce qu'ils absorbent l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique. Envisagés au point de vue chimique, ils se comportent comme des animaux dépourvus de motilité.

En opposition à cette classe d'êtres organisés qui méritent à peine le nom de plantes, nous voyons des êtres vivants, qui sont doués de mouvement, qui possèdent les organes caractéristiques de l'animalité, et qui pourtant se comportent sous l'influence de la lumière comme les plantes vertes ;

c'est-à-dire qu'en s'accroissant et se multipliant, ils deviennent une source d'oxygène qui concourt au renouvellement de l'air atmosphérique.

Il est évident que les infusoires ne peuvent apparaître, se développer et se multiplier que dans les lieux susceptibles de leur fournir en abondance la nourriture qui leur est le mieux appropriée. Parmi ces animalcules, plusieurs espèces, et ce sont les plus répandues, nous offrent deux substances appartenant au règne inorganique. L'une est la silice, qui constitue la carapace d'un grand nombre d'espèces de navicula, d'exilaires, de bacillaires, etc.; l'autre est l'oxyde de fer, qui forme l'un des éléments constitutifs de plusieurs gaillonelles. Le carbonate de chaux des animalcules crayeux est tout-à-fait identique au carbonate de chaux qui constitue l'enveloppe solide des testacés ordinaires.

On est allé jusqu'à attribuer à l'activité vitale des infusoires fossiles la formation des énormes dépôts de silice, de chaux, d'oxyde de fer que nous offrent le tuf siliceux, le schiste siliceux, le tripoli, la craie, le fer limoneux; mais on n'avait pas réfléchi que la craie, la silice et l'oxyde de fer ont dû préexister au développement de ces animaux, puisque ces matières sont l'une des conditions nécessaires à leur existence. On ne réfléchissait pas qu'aujourd'hui encore ces matières existent constamment dans la mer, les lacs et les marais, en un mot, partout où l'on rencontre de ces animaux.

L'eau, au sein de laquelle vivaient ces infusoires fossiles, contenait de la silice et de la craie à l'état de dissolution. Ces matières se trouvaient donc dans des conditions tout à

fait favorables pour se déposer sous forme de marbre, de quartz et de roches de la même famille, aussitôt que l'eau viendrait à s'évaporer. Il est certain que ce dépôt se serait effectué comme à l'ordinaire, quand bien même l'eau n'aurait pas contenu en même temps les cadavres en putréfaction des races animales antérieures, et, par conséquent, n'aurait pas offert les autres conditions nécessaires à la vie des infusoires siliceux et crayeux.

Si ces substances ne se fussent pas trouvées réunies, aucune de ces classes d'animaux ne se fût propagée et multipliée au point de former des masses aussi prodigieuses. Mais ces animaux n'ont été que la cause accidentelle de la forme qu'ont revêtue les petites particules qui constituent ces dépôts. Je dis la cause accidentelle, car, même en l'absence de ces animaux, la séparation de la chaux, de la silice et de l'oxyde de fer se fût opérée de la même manière. L'eau de la mer renferme la chaux des coraux et des innombrables testacés qui vivent dans ce milieu. Cette substance minérale s'y trouve sous la même forme et dans le même état que dans les lacs, les mers et les marais, au sein desquels se sont développés les animalcules crayeux et les animaux pourvus de test, dont l'enveloppe terreuse constitue le calcaire coquillier.

Il est déjà assez merveilleux qu'avec ces quatre éléments la force qui anime l'organisme soit capable de produire un nombre infini de combinaisons, en prenant même le terme d'infini dans son sens mathématique. Sous l'influence de cette force, le carbone, l'azote, l'hydrogène et l'oxygène donnent naissance à des corps qui possèdent toutes les pro-

priétés des oxydes métalliques, ou bien des acides inorganiques et des sels ; en sorte qu'à la limite où se termine la série des combinaisons formées par ce que nous appelons les éléments inorganiques, commence une autre série d'éléments organiques, si vaste que notre œil n'a pu encore en embrasser toute l'étendue. Le règne inorganique tout entier, c'est-à-dire les combinaisons si nombreuses et si variées formées par les métaux et les métalloïdes se reproduisent dans le règne organique. Le carbone et l'azote, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, l'azote et l'hydrogène donnent naissance à des atomes composés qui, sous le rapport des propriétés, offrent une analogie complète, soit avec le chlore, soit avec l'oxygène, soit avec le soufre, soit avec un métal, et cette analogie ne se borne pas à une seule propriété, elle s'étend à toutes.

Où trouver un corps plus fait pour exciter l'étonnement que le cyanogène, cette combinaison gazeuse formée par le carbone et l'azote, dans laquelle les métaux brûlent comme dans l'oxygène, en dégageant de la lumière et de la chaleur, ce corps composé que ses propriétés et la manière dont il se comporte placent à côté des corps simples et élémentaires, cette substance enfin dont les molécules possèdent la même forme que celles du chlore, du brome et de l'iode, car elle peut remplacer ces derniers dans leurs combinaisons sans modifier la forme du cristal ? Le cyanogène nous montre ce que l'on doit entendre par cette expression *force créatrice* de l'organisme vivant. Pour produire des éléments, des métaux, des métalloïdes, elle se borne à grouper les atomes de manière à ce que les forces qui agissent en eux puissent se dé-

ployer dans un nombre de directions beaucoup plus multiplié. Mais il n'existe, dans la nature, aucune force capable de créer, dans le sens propre du mot, aucune force capable d'anéantir la cause qui donne à la matière ses propriétés. Le fer, le carbone, l'hydrogène ne cessent jamais d'être du fer, du carbone, de l'hydrogène; jamais les éléments des corps organiques ne peuvent produire du fer, du soufre, du phosphore, etc. Dans un demi-siècle d'ici, on regardera avec un sourire de pitié l'époque où de telles opinions ont pu être tolérées et même professées : on les traitera comme nous traitons nous-mêmes les temps où florissait l'alchimie.

Mais il est dans la nature de l'homme de se laisser entraîner à des opinions de ce genre, toutes les fois que son intelligence, comme celle de l'enfant, est encore trop peu développée pour comprendre la vérité. Il en est des richesses intellectuelles comme des objets matériels destinés à satisfaire nos besoins les plus vulgaires. Nous n'acquérons les connaissances qui augmentent notre puissance matérielle, nous ne trouvons la vérité qu'au prix de travaux et d'efforts longtemps soutenus. Notre indigence ne vient que du manque de volonté ferme et inébranlable, car les moyens d'en sortir sont partout.



LETTRE XVII.

Rapports de la chimie avec la physiologie. — Division des aliments en aliments plastiques et en aliments respiratoires. — Action de l'oxygène de l'atmosphère. — Équilibre entre le carbone et l'oxygène.

Un des faits les plus remarquables et les plus importants de notre époque, c'est l'alliance qui s'est opérée entre la chimie et la physiologie, alliance qui a jeté une lumière nouvelle et inattendue sur les phénomènes vitaux dont les animaux et les végétaux sont le siége. Grâce à elle, nous savons maintenant à quoi nous en tenir sur la valeur des mots *aliment*, *poison* et *médicament*. Aujourd'hui les idées de faim et de mort ont pour nous une signification claire et précise; et nous ne sommes plus obligés de nous contenter d'une simple description des états que ces mots désignent. Nous savons actuellement d'une manière positive que toutes les substances qui servent d'aliments à l'homme doivent se diviser en deux classes. La première comprend toutes les substances qui servent à la nutrition proprement dite et à la reproduction; la deuxième comprend celles qui jouent un rôle tout différent dans l'organisme animal. On peut démontrer mathématiquement que la bière n'est pas nourrissante,

qu'aucun des éléments qui la constituent n'est capable d'entrer dans la composition du sang, de la fibre musculaire ou d'un organe quelconque de l'activité vitale. Une révolution complète s'est opérée dans les idées, relativement au rôle que la bière, le sucre, l'amidon, la gomme, etc., jouent dans les phénomènes vitaux; aussi, j'espère que mes lecteurs me sauront gré de leur faire connaître, avec quelque détail, les recherches les plus récentes entreprises sur ce sujet, ainsi que les opinions adoptées aujourd'hui.

Les premières conditions du maintien de la vie animale sont l'introduction, dans l'organisme, de substances alimentaires, et l'absorption de l'oxygène contenu dans l'air atmosphérique. A chaque instant de la vie de l'homme, ses organes respiratoires absorbent l'oxygène de l'atmosphère, et l'acte de la respiration ne cesse qu'avec la vie.

Les observations des physiologistes démontrent que le poids d'un homme adulte, auquel on donne une nourriture suffisante, n'augmente ni ne diminue dans l'espace de vingt-quatre heures, malgré la quantité considérable d'oxygène qui, durant ce laps de temps, est absorbée par l'organisme. D'après les expériences de Lavoisier, un homme adulte enlève par année, à l'air atmosphérique, 746 livres pesant d'oxygène. Menzies trouve l'évaluation précédente trop faible, et suivant lui, la quantité d'oxygène absorbée s'élève à 837 livres par an. Cependant, au bout de l'année, le poids de l'homme est absolument le même qu'au commencement, et s'il varie en plus ou en moins, la différence n'est que de quelques livres.

Que sont donc devenus ces 7 ou 8 quintaux d'oxygène que l'organisme a absorbés dans l'espace d'une année entière?

La chimie a répondu à cette question de la manière la plus satisfaisante. De toute cette masse d'oxygène, il n'en reste pas un atome dans le corps. Après avoir pénétré dans l'organisme, l'oxygène en sort sous forme de combinaison carbonée ou hydrogénée. Le carbone et l'hydrogène de certaines parties de l'organisme se combinent avec l'oxygène introduit dans l'économie par la peau et par l'appareil respiratoire, et sont ensuite éliminés par la peau et les poumons, sous forme d'acide carbonique et de vapeur d'eau. Ainsi donc, à chaque mouvement respiratoire, une partie des substances qui composent l'organisme s'en sépare après s'y être combinée avec l'oxygène enlevé à l'air atmosphérique, et ce phénomène se répète incessamment pendant toute la durée de la vie.

Prenons maintenant, afin d'avoir une base pour établir un calcul approximatif, l'évaluation de Lavoisier et Séguin, et admettons avec ces chimistes qu'un homme adulte absorbe chaque jour 2 livres et une demi-once d'oxygène (46037 pouces cubes = 15661 grains). Supposons encore que la masse totale du sang d'un individu soit égale à 24 livres, et contienne 80 pour cent d'eau. La composition du sang étant connue, il est évident que pour convertir la totalité du carbone et de l'hydrogène du sang en acide carbonique et en eau, il faudra 66040 grains d'oxygène. Or, il suffit de quatre jours et cinq heures à un homme adulte pour absorber cette énorme quantité d'oxygène.

Peu importe que l'oxygène se combine directement avec les éléments du sang, ou bien avec les substances riches en carbone et en hydrogène qui existent dans l'organisme. Ceci

ne fait rien à la question qui nous occupe, car il résulte nécessairement de ce que nous venons de dire que les aliments doivent, dans l'espace de quatre jours et cinq heures, restituer à l'organisme humain une quantité de carbone et d'hydrogène égale à celle qui est normalement contenue dans 24 livres de sang; toutefois nous supposons ici que le poids du corps est resté le même et que la santé de l'individu n'a reçu aucune atteinte. Ce sont les substances alimentaires, ingérées dans l'organisme, qui lui restituent l'hydrogène et le carbone qu'il a perdus.

En déterminant avec exactitude, d'une part, la quantité de carbone que les aliments introduisent dans l'économie, et d'autre part, en évaluant celle qui est éliminée par les féces et l'urine à l'état non brûlé, c'est-à-dire sous toute autre forme que celle de combinaison oxygénée, on s'est assuré qu'un homme adulte, qui a l'habitude de se livrer à un exercice modéré, consomme 13 onces 9 dixièmes de carbone par jour. [1]

[1] Le nombre que nous donnons ici est la moyenne qui a été déduite d'observations faites sur huit cent cinquante-six soldats casernés. Leurs aliments (pain, pommes de terre, viande, lentilles, pois, haricots, etc., jusques au poivre, au sel et au beurre) furent pesés avec la plus grande exactitude pendant un mois, et l'on analysa séparément chaque article. Tous ces hommes étaient soumis rigoureusement au même régime, à l'exception de trois soldats de la garde qui, indépendamment de la ration de pain ordinaire (2 livres par jour), recevaient en plus chaque jour de paie un demi-pain pesant 2 livres et demie, et d'un tambour qui avait un demi-pain de reste. Nous ne comptons pas la quantité de carbone contenue dans les légumes frais, la choucrute, ainsi que dans les aliments que les soldats consommaient le soir, une fois qu'ils étaient sortis de la caserne. D'après l'évaluation approximative faite par le sergent-major, voici la

Ces 13 onces 9/10 de carbone sont évacuées par les voies cutanée et pulmonaire, sous forme de gaz acide carbonique; mais, pour se transformer en gaz acide carbonique, ces 13 onces 9/10 de carbone ont besoin de 37 onces d'oxygène.

D'après les analyses de Boussingault[2], un cheval consomme en 24 heures 79 onces 3/8 de carbone, et une vache laitière en consomme 70 onces 3/4. Ces quantités de carbone sont ensuite éliminées de l'organisme sous forme d'acide carbonique. Or, pour convertir le carbone qu'il consomme en acide carbonique, le cheval a besoin de 13 livres 7/32 d'oxygène; quant à la vache, il lui en faut 11 livres 2/3.

Comme aucune portion de l'oxygène absorbé n'est rejetée de l'économie sous une autre forme que sous celle d'une combinaison carbonée ou hydrogénée; comme, en outre, chez un individu à l'état normal, le carbone et l'hydrogène éliminés sont remplacés par le carbone et l'hydrogène que contiennent les aliments ingérés, il est évident que la quantité d'aliments nécessaire à la conservation intégrale de l'organisme animal doit se trouver en rapport direct avec la

moyenne de ce que chaque soldat consommait par jour : 3 onces de charcuterie, 3/4 once de beurre, 1/2 schoppe ou 1/4 litre de bière, et 1/10 schoppe ou 1/20 litre d'eau-de-vie. La quantité de carbone que renfermaient ces substances était plus que le double de celle que donnaient les fèces et l'urine prises ensemble. Chez un soldat, les fèces s'élevaient, terme moyen, à 5 onces 3/4 par jour; elles contenaient 75 pour cent d'eau, et le résidu donnait 45, 24 pour cent de carbone, et 13, 15 pour cent de cendres. Cent parties de fèces récentes renferment donc 11, 31 de carbone, c'est-à-dire presque autant qu'un poids égal de viande fraiche. Dans le calcul ci-dessus, l'on a supposé le carbone des legumes frais et des aliments pris dans les cabarets, égal au carbone des fèces et de l'urine.

[2] *Annales de chimie et de physique*, t. LXX, p. 136.

quantité d'oxygène absorbée. Lorsque, dans un même espace de temps, deux animaux absorbent par la peau et les poumons des quantités inégales d'oxygène, ils consomment des quantités différentes des mêmes aliments, et ces dernières sont proportionnelles aux quantités d'oxygène absorbées. La consommation d'oxygène qui a lieu dans un temps donné, peut s'exprimer par le nombre des inspirations. Il est clair que, chez un seul et même animal, la quantité d'aliments qui lui est nécessaire, doit varier avec la force et la fréquence des mouvements respiratoires. C'est pourquoi dans l'enfance où, comme chacun sait, les organes respiratoires sont beaucoup plus actifs que dans les autres âges de la vie, l'on a besoin de faire des repas plus fréquents, et l'on consomme proportionnellement plus d'aliments : aussi l'enfant supporte-t-il la faim bien moins facilement que l'adulte. Un oiseau privé de nourriture ne vit pas au delà de trois jours. Au contraire, un serpent qui, placé sous une cloche pendant une heure, absorbe à peine assez d'oxygène pour produire une quantité appréciable d'acide carbonique, peut vivre trois mois et même plus sans prendre aucune espèce de nourriture. La fréquence de la respiration est moindre chez l'individu qui reste en repos que chez celui qui se livre au travail ou qui fait beaucoup d'exercice. La quantité d'aliments nécessaire dans l'un et l'autre cas doit donc varier dans la même proportion.

Un homme qui mange beaucoup doit faire beaucoup d'exercice, sans quoi la quantité d'oxygène qu'il absorbera dans l'état de repos sera insuffisante. De même un individu dont les organes digestifs sont faibles ne doit pas se livrer à un

exercice trop actif, parce que l'exercice oblige à prendre une quantité considérable de nourriture, ce qui serait incompatible avec l'état de ces organes.

La quantité d'oxygène qu'un animal absorbe par la voie pulmonaire ne dépend pas uniquement du nombre des inspirations; elle dépend encore de la température de l'air respiré. La capacité de la cavité thoracique d'un animal reste constamment la même. A chaque inspiration il y pénètre une certaine quantité d'air; mais cette quantité varie, quoique le volume d'air que reçoit le poumon puisse être regardé comme invariable. Cela tient à ce que la densité et le poids de l'air ne demeurent pas constamment les mêmes, en sorte que le poids d'oxygène que renferme l'air doit varier dans les mêmes proportions. En effet, l'air atmosphérique se dilatant sous l'influence de la chaleur et se contractant sous celle du froid, il s'ensuit que deux volumes égaux, l'un d'air froid, l'autre d'air chaud, contiennent nécessairement des poids inégaux d'oxygène.

Dans l'été, l'air atmosphérique contient de l'eau à l'état de vapeur; pendant l'hiver, au contraire, il est à peu près sec. L'espace que la vapeur d'eau occupe dans l'atmosphère pendant la saison chaude, est, durant l'hiver, occupé par de l'air : par conséquent un même volume d'air atmosphérique contient plus d'oxygène pendant l'hiver que pendant l'été.

Au reste, que nous soyons en été ou en hiver, que nous habitions près du pôle ou sous l'équateur, le volume d'air que nous inspirons est invariable. L'air froid une fois introduit dans les bronches et les cellules pulmonaires y acquiert une température plus élevée, et se met au niveau de celle

du corps. La dépense de force qu'exige l'introduction d'une quantité donnée d'oxygène dans les poumons doit nécessairement être moindre pendant l'hiver que pendant l'été : il en résulte que, pour une même dépense de force, on inspire plus d'oxygène dans les saisons froides que dans les saisons chaudes.

Il est évident qu'à nombre égal d'inspirations, nous devons absorber une plus grande quantité d'oxygène au niveau de la mer que lorsque nous nous trouvons sur une montagne élevée. De même la quantité d'acide carbonique exhalée ainsi que celle d'oxygène absorbée doivent varier avec la pression atmosphérique.

L'oxygène introduit dans l'économie est toujours éliminé, été comme hiver, sous la même forme, c'est-à-dire sous forme d'acide carbonique. Nous expirons plus de carbone à une basse température qu'à une température élevée : il en est de même lorsque la pression atmosphérique augmente. Il faut donc que l'homme prenne, selon les circonstances, des aliments contenant une quantité de carbone plus ou moins considérable, c'est-à-dire proportionnelle à l'oxygène absorbé. Aussi, les habitants de la Suède consomment-ils une plus grande masse d'aliments que ceux de la Sicile. C'est également pour cela que, dans nos climats, nous consommons un huitième de plus de nourriture en hiver qu'en été.

Au reste, alors même que les habitants des pays chauds et des pays froids consommeraient des poids égaux d'aliments, la Sagesse infinie a pourvu à ce que la quantité de carbone qu'ils contiennent reste toujours proportionnelle à celle

de l'oxygène absorbé. En effet, les productions des contrées méridionales renferment moins de carbone que celles du nord. Ainsi les fruits des régions tropicales ne contiennent, à l'état frais, que 12 p. 0/0 de carbone, tandis que le lard et l'huile de poisson dont les habitants des régions polaires font leur nourriture, en contiennent 66 à 80 p. 0/0.

C'est pour cela que la sobriété est une vertu facile dans les pays chauds, et que, sous l'équateur, l'on peut supporter longtemps une abstinence complète : mais l'action combinée du froid et de la faim épuisent rapidement l'organisme animal.

Le conflit ou l'action réciproque des éléments nutritifs et de l'oxygène qui circule, avec le sang, dans l'organisme tout entier, telle est *la source de la chaleur animale.*

LETTRE XVIII.

Chaleur animale; ses lois; son influence sur les fonctions de l'organisme animal. — Perte et reproduction. — Influence du climat. — Sources de la chaleur animale. — Action de l'oxygène dans les maladies. — Respiration.

L'étude de la chaleur animale, de ses sources, des lois qui président à son développement, de l'influence qu'elle exerce sur les fonctions de l'organisme animal, est un sujet si curieux et si intéressant que je ne puis résister au désir d'appeler sur lui l'attention du lecteur.

Tous les êtres vivants, dont l'existence dépend de l'absorption d'une certaine quantité d'oxygène, possèdent en eux-mêmes une source de chaleur indépendante des milieux ambiants. Cette vérité s'applique non-seulement à tous les animaux, mais encore aux semences végétales pendant l'acte de la germination, aux fleurs durant leur période de développement, et aux fruits pendant leur maturation.

Quant à l'organisme animal, il n'y a production de chaleur que dans les parties qui reçoivent du sang artériel, et qui se trouvent ainsi en contact avec l'oxygène absorbé par la voie pulmonaire. Les poils, la laine, les plumes, ne recevant pas de sang artériel, ne possèdent pas de température

propre. La température élevée du corps animal, ou, en d'autres termes, le dégagement de chaleur qui a lieu dans l'organisme, est partout et toujours le résultat de la combinaison qui s'opère entre l'oxygène atmosphérique absorbé et les substances combustibles de l'économie. Sous quelque forme que le carbone s'unisse avec l'oxygène, la combinaison ne peut s'effectuer sans qu'il y ait en même temps dégagement de chaleur. Peu importe que cette combinaison se fasse avec lenteur ou rapidité, à une température basse ou élevée, la quantité de chaleur qui se dégage demeure invariablement la même. Le carbone des aliments, en se convertissant dans l'intérieur du corps en acide carbonique, dégage exactement autant de chaleur pendant cette transformation que s'il brûlait directement dans l'air atmosphérique ou dans l'oxygène. La seule différence qu'il y ait entre les deux cas, c'est que la somme de chaleur produite se répartit sur des espaces de temps inégaux. Dans l'oxygène pur, la combustion s'accomplit avec rapidité, et la température est plus élevée; dans l'air atmosphérique, au contraire, elle est plus lente et donne une température moins élevée; mais en revanche elle dure plus longtemps.

Il est évident que la somme de chaleur dégagée dans l'organisme doit augmenter ou diminuer avec la quantité d'oxygène qui, dans des temps égaux, pénètre dans l'économie par la voie pulmonaire. En conséquence, les animaux dont la respiration est fréquente et qui consomment ainsi une quantité considérable d'oxygène, possèdent une température plus élevée que ceux qui, ayant dans le même espace de temps un volume égal de corps à échauffer, absorbent moins

d'oxygène. La température du corps d'un enfant (39°) est supérieure à celle d'un homme adulte (37°,5). Celle des oiseaux (40° à 41°) est plus élevée que celle des quadrupèdes (37° à 38°). Enfin, cette dernière excède énormément la température propre des poissons ou des reptiles qui ne dépasse la température du milieu ambiant que de 1 1/2 à 2 degrés. Rigoureusement parlant, tous les animaux sont à sang chaud; mais les seuls chez lesquels la température propre du corps se trouve complétement indépendante de celle du milieu, sont ceux qui respirent au moyen de poumons. Il est démontré par des observations exactes que, dans tous les climats, sous toutes les latitudes, dans les régions tempérées, polaires ou tropicales, la température propre de l'homme ainsi que celle des animaux appelés vulgairement à sang chaud, reste invariablement la même. Cependant quelles différences n'observe-t-on pas dans la température des divers pays où se multiplie l'espèce humaine?

Le corps d'un animal représente une masse échauffée qui se comporte à l'égard des objets environnants comme tous les corps chauds. Il reçoit du calorique, quand la température extérieure est plus élevée que la sienne propre; il en cède au contraire aux objets environnants, lorsque sa température est supérieure à la leur.

Nous savons que la rapidité avec laquelle un corps se refroidit, est déterminée par la différence qui existe entre la température du corps chaud et celle du milieu ambiant; c'est-à-dire que plus ce dernier est froid, moins il faut de temps pour que l'équilibre s'établisse entre la température du milieu et celle du corps chaud. Quelle énorme différence

ne doit-il pas exister dans la déperdition de chaleur qu'éprouvent deux hommes, dont l'un vit à Palerme où la température extérieure est presque égale à celle du corps, et dont l'autre habite les régions polaires où la température extérieure est plus basse de 40 à 50 degrés? Malgré cette prodigieuse inégalité dans la perte de chaleur éprouvée par les habitants de contrées si diverses, le sang de l'habitant du cercle arctique est tout aussi chaud que celui de l'habitant des tropiques qui vit au milieu d'une atmosphère embrasée. C'est ce que prouve l'expérience. Ce fait, quand on connaît sa véritable signification, démontre que l'organisme animal remplace la chaleur perdue avec la même rapidité qu'il l'abandonne aux objets environnants. Cette restitution s'opère plus rapidement dans l'hiver que dans l'été, dans les régions polaires que dans les régions équatoriales.

Ainsi que nous l'avons déjà fait voir, la quantité d'oxygène absorbée par la voie pulmonaire varie, dans les différents climats, suivant la température de l'air atmosphérique. La quantité d'oxygène inspirée augmente quand la température du corps s'abaisse par l'effet du froid extérieur. Par conséquent, il faut qu'il y ait une augmentation proportionnelle dans la quantité de carbone et d'hydrogène introduite avec les aliments, pour que l'oxygène puisse se combiner avec ces principes. Il est évident que la chaleur nouvelle qui remplace la chaleur perdue, provient de l'action réciproque qu'exercent les uns sur les autres l'oxygène inspiré et les principes alimentaires. Pour nous servir d'une comparaison qui, malgré sa trivialité, n'en est pas moins fort juste, l'organisme animal se comporte sous ce rapport

comme un fourneau dans lequel on doit constamment jeter de nouveau combustible. Peu importent les formes que les aliments prennent peu à peu dans l'économie, peu importent les modifications intermédiaires qu'ils peuvent subir, le dernier changement qu'ils éprouvent est toujours la transformation de leur carbone en acide carbonique et de leur hydrogène en eau. Le carbone qui n'est pas brûlé et l'azote sont éliminés dans l'urine et les excréments solides. Quand on veut entretenir dans un fourneau une température constante, la quantité de combustible que l'on y jette doit varier selon l'état de la température extérieure. Les aliments sont, pour ainsi dire, le combustible qui sert à la consommation du corps animal. C'est en introduisant dans l'économie une quantité convenable de substances qui y sont oxydées, c'est-à-dire brûlées par l'oxygène, que nous entretenons un dégagement continuel de chaleur. En hiver, lorsque nous prenons de l'exercice au milieu d'une atmosphère froide, et que, par conséquent, nous aspirons une plus grande quantité d'oxygène, le besoin que nous avons d'aliments contenant du carbone et de l'hydrogène augmente en raison de la quantité d'oxygène absorbée. C'est en satisfaisant ce besoin que nous nous maintenons en état de résister efficacement au froid le plus intense. Le froid saisit et tue rapidement un homme qui n'a pas mangé depuis longtemps. Chacun sait que les carnivores des régions polaires surpassent de beaucoup en voracité ceux de la zone torride. Dans les climats froids et tempérés, l'air qui tend incessamment à consumer notre corps, nous force à lutter contre cette puissance destructive, c'est-à-dire à travailler pour

nous fournir les moyens de résister à son action, tandis que, dans les climats chauds, la nécessité du travail est beaucoup moins urgente ; car la quantité de nourriture nécessaire à l'homme y est beaucoup moins considérable,

Nos vêtements sont tout simplement des équivalents qui peuvent, jusqu'à un certain point, se substituer aux aliments. En effet, plus nous sommes vêtus chaudement, plus notre appétit diminue, parce qu'alors la déperdition de chaleur étant moindre, nous avons besoin d'une moindre quantité de nourriture pour remplacer le calorique perdu. Si nous allions tout nus comme les Indiens, ou bien si nous étions exposés à un froid aussi vif que le sont les Samoyèdes dans leurs chasses et leurs pêches, nous serions capables de dévorer comme eux la moitié d'un veau et une douzaine de chandelles de suif par-dessus le marché, ainsi que le rapportent avec étonnement les voyageurs chaudement vêtus qui ont visité ces régions glaciales. Dans ce cas, nous pourrions supporter sans inconvénient les mêmes quantités d'eau-de-vie et d'huile de poisson que ces peuples, parce que le carbone et l'hydrogène que contiennent ces substances serviraient simplement à maintenir l'équilibre entre la température extérieure et celle de notre corps.

On peut donc conclure des observations qui précèdent, que la quantité de nourriture dont nous avons besoin est déterminée par le nombre d'inspirations que nous faisons, par la température de l'air que nous respirons, et par la somme de chaleur que les objets environnants enlèvent à notre corps. La vérité de cette loi physique ne saurait être infirmée par aucun fait isolé contraire. Un Napolitain ne peut, sans pré-

judicier à sa santé d'une façon passagère ou permanente, absorber sous forme d'aliments plus de carbone et d'hydrogène qu'il n'exhale d'acide carbonique et d'eau. De même un habitant des régions boréales ne peut pas, sans être malade ou sans souffrir de la faim, exhaler plus de carbone et d'hydrogène que n'en contiennent ses aliments.

Disons un mot de l'état de maladie et de la faim. Un Anglais, arrivé à la Jamaïque, voit avec regret disparaître son appétit qui, auparavant, était pour lui une source intarissable de jouissances; cependant il réussit, à l'aide du poivre de Cayenne et des stimulants les plus actifs, à consommer une aussi grande quantité de nourriture que dans son pays. Mais la totalité du carbone ainsi introduit dans l'économie n'est pas consumée; car la température de l'atmosphère est trop élevée, la chaleur trop accablante pour lui permettre d'augmenter, au moyen du mouvement et de l'exercice, le nombre des inspirations pulmonaires. Ainsi donc, il n'y a pas proportion entre les principes nutritifs ingérés et l'oxygène absorbé; il reste un excès de carbone et d'hydrogène. D'un autre côté, les médecins anglais envoient dans les pays chauds, où la quantité d'oxygène absorbée à chaque inspiration est beaucoup moins considérable qu'en Angleterre, ceux de leurs malades dont les organes digestifs ont perdu en tout ou en partie la faculté de mettre les aliments en état de se combiner avec l'oxygène, et qui, par conséquent, sont incapables de résister à l'action oxydante de l'atmosphère froide de leur pays natal. La santé de ces malades s'améliore sensiblement sous l'influence d'un climat chaud; car alors les organes digestifs affectés peuvent encore élaborer convena-

blement une quantité d'aliments moindre qu'en Angleterre, mais cependant proportionnelle à la somme d'oxygène absorbée. Dans un pays froid, au contraire, les organes respiratoires auraient eux-mêmes été consumés pour servir à la saturation de l'oxygène. Dans nos régions tempérées, ce sont les maladies du foie (maladies par excès de carbone) qui prédominent pendant l'été; dans l'hiver, ce sont les maladies du poumon (maladies par excès d'oxygène).

Le refroidissement du corps, quelle que soit la cause qui le produit, nécessite l'ingestion d'une nourriture plus abondante. La simple exposition au grand air, dans une voiture ou sur le pont d'un navire, alors même que l'on ne fait aucun mouvement, augmente le rayonnement de la chaleur et l'évaporation qui a lieu à la surface du corps, d'où résulte une plus grande déperdition de chaleur et le besoin de prendre plus d'aliments qu'à l'ordinaire. La même observation s'applique aux personnes qui ont l'habitude de boire d'énormes quantités d'eau froide; car cette eau, quand elle est évacuée, a acquis une température égale à celle du corps, c'est-à-dire 37° centigrades. L'eau froide, bue en abondance, rend donc l'appétit plus vif; et les individus de constitution faible sont obligés de faire beaucoup d'exercice, afin d'absorber une plus grande quantité d'oxygène et de reproduire ainsi la chaleur que l'organisme a cédée à l'eau froide. Les efforts auxquels on se livre pour parler longtemps et à haute voix, ainsi que pour chanter, les cris des enfants, l'humidité de l'air, tout cela exerce une influence évidente et calculable sur la quantité d'aliments que l'on est obligé de prendre.

Nous avons établi plus haut que c'est surtout le carbone

et l'hydrogène qui, en se combinant, contribuent à produire la chaleur animale. Des observations extrêmement simples démontrent qu'en réalité l'hydrogène ne joue pas ici un rôle moins important que le carbone.

Un moyen très-facile de se faire une idée exacte des phénomènes qui dépendent de la respiration, consiste à étudier ce qui se passe chez un homme ou un animal qui ne prend aucune espèce d'aliment. Les mouvements respiratoires continuent de s'exécuter avec régularité. L'animal soumis à cette expérience absorbe comme auparavant l'oxygène de l'atmosphère et l'exhale ensuite sous forme d'acide carbonique et de vapeur d'eau. Nous savons, de manière à n'en pouvoir douter, d'où proviennent le carbone et l'hydrogène qui sont expirés après leur combinaison avec l'oxygène. En effet, plus l'abstinence se prolonge, plus nous voyons diminuer le carbone et l'hydrogène du corps. Le premier effet de la faim prolongée est la disparition de la graisse; cependant cette graisse ne se retrouve ni dans l'urine, ni dans les excréments solides, qui sont alors peu abondants. Le carbone et l'hydrogène de la graisse sont éliminés par la peau et les poumons sous la forme de produits oxygénés. Il est donc évident que ces principes ont servi à entretenir la respiration. Un homme adulte, ainsi que nous l'avons vu, absorbe par jour trente-deux onces et demie d'oxygène; or, chez un individu qui ne prend aucune nourriture, cet oxygène doit nécessairement attaquer et enlever une partie de la substance organique du corps, perte qui ne se répare pas. Currie a vu un malade, qui ne pouvait pas avaler, perdre en un mois plus de cent livres de son poids. Suivant

Martell [1], un cochon engraissé, qui avait été enseveli par un éboulement, vécut cent soixante jours sans nourriture ; au bout de ce temps, son poids était diminué de plus de cent vingt livres. L'histoire des animaux hibernants, et le fait de la formation périodique, chez certains animaux, d'amas de graisse qui disparaissent complétement à d'autres époques de leur vie, démontrent que l'oxygène absorbé par l'appareil respiratoire consume, sans exception, toutes les substances qui peuvent se combiner avec lui. L'oxygène, en effet, s'unit indistinctement avec toutes les matières qui sont susceptibles de se combiner avec lui. S'il se forme plus d'acide carbonique que de vapeur d'eau, cela tient uniquement à un manque d'hydrogène, attendu qu'à la température naturelle du corps, l'affinité de l'hydrogène pour l'oxygène surpasse de beaucoup celle du carbone pour le même élément.

En effet, les animaux herbivores expirent un volume d'acide carbonique égal à celui de l'oxygène inspiré, tandis que les carnivores, la seule classe d'animaux dont les aliments contiennent de la graisse, absorbent une quantité d'oxygène supérieure à celle qui se retrouve dans le volume d'acide carbonique exhalé. Dans un grand nombre de cas, comme l'ont prouvé des expériences exactes, il n'y a que la moitié du volume d'oxygène absorbé qui se dégage sous la forme d'acide carbonique. Ces observations ne sauraient être contredites ; elles sont plus convaincantes que tous ces phénomènes que l'on produit artificiellement et à volonté, et auxquels on donne le nom d'expériences. Ces dernières

[1] *Transactions of the Linnean Society*, t. XI, p. 411.

sont complétement superflues, surtout lorsque, comme ici, la nature nous offre l'occasion d'observer, et que l'on profite avec intelligence de cette occasion.

Quand l'abstinence se prolonge encore davantage, ce n'est pas seulement la graisse qui est consumée, on voit successivement disparaître toutes les substances solides susceptibles de se dissoudre. Dans le corps complétement émacié d'un individu qui est mort de faim, les muscles sont minces et ramollis; ils ont totalement perdu leur contractilité. Toutes les parties du corps qui étaient capables d'accomplir des mouvements, ont servi à mettre les autres tissus à l'abri de l'action destructive de l'atmosphère. Enfin, les éléments constitutifs du cerveau prennent part à l'oxydation générale: de là les hallucinations, le délire, et la mort, c'est-à-dire la cessation absolue de toute résistance à l'action de l'oxygène de l'air. Alors commencent les phénomènes chimiques de la décomposition définitive : toutes les parties du corps se combinent avec l'oxygène atmosphérique.

La durée du supplice de la faim prolongée jusqu'à ce que la mort s'ensuive, varie selon les circonstances; elle est d'autant plus courte que l'individu est moins chargé de graisse, qu'il fait plus de mouvement et d'exercice, que la température de l'air est plus basse. Enfin, cette durée dépend encore de la présence ou de l'absence de l'eau. Il se dégage incessamment par la peau et le poumon une certaine quantité d'eau : or, comme la présence de l'eau est une condition essentielle de la continuation de tous les mouvements vitaux, il est évident que la dissipation de cette eau accélère la mort. On a observé des cas où, grâce à l'usage de l'eau, le patient

n'a succombé qu'après un laps de temps de vingt jours. On cite même un exemple où la mort n'eut lieu qu'au bout de soixante jours.

Dans toutes les maladies chroniques, la mort est le résultat de la même cause, à savoir, de l'action chimique de l'atmosphère. Lorsque les substances qui sont destinées à entretenir la respiration viennent à manquer, lorsque les organes digestifs du malade cessent d'accomplir leurs fonctions, lorsqu'ils perdent la faculté de modifier les aliments ingérés de manière à les rendre aptes à se combiner avec l'oxygène atmosphérique, ce dernier attaque alors le tissu propre des organes; il consume successivement la graisse, le tissu musculaire, la substance du cerveau et celle des nerfs.

La cause proprement dite de la mort réside donc dans l'acte essentiel de la respiration, c'est-à-dire dans l'action même de l'atmosphère. L'absence de nourriture, et l'impuissance de transformer les principes alimentaires en molécules propres de l'organisme, sont tous deux également un défaut de résistance; c'est là la cause négative de la cessation de l'activité vitale. La flamme s'éteint, parce que l'huile manque; et c'est l'oxygène de l'air qui a consumé l'huile.

Dans certains états morbides, il se produit, au sein de l'organisme, des substances qui ne sont pas susceptibles d'assimilation. L'abstinence suffit, à elle seule, pour faire disparaître complétement ces produits anormaux. Ils s'évanouissent sans laisser de trace, parce que leurs éléments se combinent avec l'oxygène de l'air. Dès l'instant que les fonctions de la peau ou du poumon éprouvent une perturbation, on voit apparaître, dans l'urine, des composés plus riches en carbone,

qui communiquent une couleur brune à ce liquide. La respiration est comme le poids, comme le ressort tendu qui donnent le mouvement à une horloge. Les mouvements respiratoires sont les battements du pendule qui règlent la marche du mécanisme. Nous connaissons, avec une précision mathématique, l'influence qu'exercent sur la vitesse de la marche de nos chronomètres ordinaires, les changements de longueur du pendule ou les variations de la température extérieure. Cependant il est peu de personnes qui se rendent un compte exact de l'action que l'air et la température exercent sur la santé de l'homme. Il n'est pourtant pas plus difficile de déterminer les conditions sous lesquelles se maintient l'état normal de l'organisme, que celles d'où dépend la régularité des mouvements d'une horloge.



LETTRE XIX.

Principes alimentaires. — Éléments constitutifs du sang. — Fibrine, albumine, substances inorganiques. — Identité de composition de la fibrine et de l'albumine. — Rapports entre les organismes animaux et végétaux.

Dans la lettre qui précède, je me suis efforcé d'expliquer en peu de mots les fonctions si simples, et cependant si admirables, que remplit l'oxygène atmosphérique par sa combinaison avec le carbone de l'organisme animal. Nous allons donc maintenant présenter quelques observations sur les substances qui sont destinées à entretenir le mouvement incessant de la machine animale, c'est-à-dire sur les substances alimentaires.

S'il est vrai que l'accroissement du corps, que le développement de ses organes, et que la réparation de ses pertes se fassent aux dépens du sang, c'est-à-dire aux dépens des principes immédiats qui constituent ce liquide, nous sommes forcés de réserver exclusivement le nom d'*aliments* aux seules substances qui sont susceptibles de se transformer en sang. Or, nous n'avons qu'un moyen de reconnaître quelles sont les substances susceptibles de cette transformation : il consiste à comparer la composition des divers aliments avec celle des principes immédiats du sang.

Parmi les substances qui entrent dans la composition de

ce liquide, il en est deux qui méritent une étude toute spéciale, car elles en constituent les éléments essentiels. Dès que le sang est soustrait à l'influence vitale, l'un de ces éléments se sépare immédiatement. Tout le monde sait qu'après une saignée, il s'opère une séparation entre la partie liquide et la partie solide du sang. La première est un liquide jaunâtre auquel on donne le nom de *sérum;* l'autre est une masse solide gélatineuse qui, lorsqu'on agite ou fouette du sang frais avec une baguette au moment de la coagulation, s'attache à cette baguette sous forme de filaments mous et élastiques : c'est la *fibrine.* Le second principe essentiel du sang est l'*albumine.* Elle se trouve contenue dans le sérum à l'état de dissolution, et donne à ce liquide toutes les propriétés du blanc d'œuf auquel elle est identique. Quand on soumet le sérum du sang à l'action de la chaleur, l'albumine se prend en une masse blanche et élastique. La fibrine et l'albumine qui sont, ainsi que nous venons de le dire, les deux principes essentiels du sang, sont toutes deux composées de sept éléments chimiques, parmi lesquels nous trouvons l'azote, le phosphore, le soufre, ainsi que la substance terreuse des os. Le sérum contient, à l'état de dissolution, du sel commun, ainsi que d'autres sels à base de potasse et de soude; ce sont des carbonates, des phosphates et des sulfates. Les globules du sang renferment de la fibrine, de l'albumine, et de plus une matière colorante rouge dans laquelle il existe toujours du fer. Indépendamment des substances que nous venons de nommer, le sang renferme encore quelques corps gras qui se distinguent de la graisse ordinaire par plusieurs propriétés.

On est arrivé par l'analyse chimique à ce résultat remarquable, que la fibrine et l'albumine contiennent les mêmes éléments unis dans la même proportion pondérale. Ainsi, quand on exécute parallèlement deux analyses, l'une de fibrine, l'autre d'albumine, les résultats obtenus sont tout aussi rigoureusement semblables que si l'on avait fait simultanément deux analyses de fibrine ou deux analyses d'albumine.

La fibrine et l'albumine sont donc isomériques, c'est-à-dire que leur composition chimique est identique; mais les différences qu'elle présentent sous le rapport de leurs propriétés démontrent que leurs éléments sont groupés d'une manière différente. L'exactitude de cette conclusion a été, il y a peu de temps, confirmée de la façon la plus positive par Denis. Ce physiologiste distingué a réussi à convertir artificiellement de la fibrine en albumine, c'est-à-dire à donner à la fibrine la solubilité et la coagulabilité qui caractérisent le blanc d'œuf. Outre leur identité de composition, la fibrine et l'albumine ont encore une propriété chimique qui leur est commune, c'est que toutes deux se dissolvent dans l'acide chlorhydrique concentré. L'une et l'autre dissolution constituent un liquide concentré de couleur bleu indigo foncé, et réagissent de la même manière sur toutes les substances que l'on met en contact avec elles. La fibrine et l'albumine peuvent toutes deux également, dans l'acte de la nutrition, se transformer en fibre musculaire, et la fibre musculaire est à son tour susceptible de se reconvertir en sang. Il y a déjà longtemps que les physiologistes ont établi la réalité de ces transformations : la chimie a simplement démontré que cette conversion et cette reconversion s'opèrent en vertu

d'une force particulière, sans l'intervention d'un troisième corps, sans qu'un élément étranger vienne s'ajouter à la fibrine ou à l'albumine, et sans que ces deux substances perdent un seul de leurs éléments constitutifs.

Si maintenant nous comparons la composition de tous les tissus avec celle de la fibrine et de l'albumine du sang, nous arrivons aux résultats suivants. Toutes les parties du corps animal, qui possèdent une forme déterminée et qui constituent les éléments des organes, contiennent de l'azote. Il n'existe pas, dans un organe doué de mouvement et de vie, une seule molécule qui ne renferme de l'azote. On trouve également dans tous les tissus du carbone ainsi que les éléments de l'eau : mais pourtant ces derniers ne s'y trouvent jamais dans la proportion voulue pour former de l'eau. Les principes immédiats essentiels du sang contiennent environ 16 p. 0/0 d'azote, et l'on sait que la quantité d'azote qui entre dans la composition de toutes les parties de l'organisme, n'est jamais inférieure à celle qui existe dans le sang. Des observations et des expériences diverses ont prouvé que l'organisme animal est absolument incapable de produire un élément chimique, tel que l'azote ou le carbone, au moyen de substances ne contenant ni azote ni carbone. Il résulte donc nécessairement de là que toutes les substances alimentaires, pour être aptes à se métamorphoser en sang ou à former le tissu cellulaire, les membranes, la peau, les poils, la fibre musculaire, etc., doivent contenir une certaine quantité d'azote, puisque, d'un côté, les organes ne peuvent, avec des substances qui ne renferment pas d'azote, fabriquer cet élément essentiel à la composition

des tissus que nous venons d'énumérer, et puisque, d'un autre côté, l'azote de l'atmosphère ne se combine jamais avec les tissus et les organes animaux.

La substance cérébrale et nerveuse est en grande partie composée d'albumine. Mais, indépendamment de ce principe, on y a découvert deux acides gras particuliers qui se distinguent de toutes les autres graisses en ce qu'ils renferment du phosphore. (Peut-être existe-t-il à l'état d'acide phosphorique). L'un de ces acides gras contient de l'azote. Enfin, l'eau et la graisse contiennent les principes non-azotés de l'organisme animal. Toutes deux sont amorphes, et le seul rôle qu'elles jouent dans les phénomènes vitaux est celui d'intermédiaires nécessaires à l'accomplissement de certaines fonctions. Les principes inorganiques de l'économie animale sont le fer, la chaux, la magnésie, le sel commun et les alcalis.

Les carnivores sont de tous les animaux ceux chez lesquels la nutrition s'opère de la manière la plus simple. Tous les individus de cette classe se nourrissent du sang et de la chair des animaux herbivores et granivores. Mais la chair et le sang de ces derniers sont, sous tous les rapports, identiques au sang et à la chair des carnivores : on n'a découvert aucune espèce de différence, soit chimique, soit physiologique, entre le sang et la chair de ces deux classes d'animaux.

Les aliments qui servent à la nutrition des carnivores proviennent du sang : ils se fluidifient dans l'estomac de l'animal et deviennent ainsi aptes à être transportés dans toutes les parties de l'organisme. Durant ce mouvement de transla-

tion ils se transforment en sang, et celui-ci a pour fonction de reproduire toutes les parties du système qui ont éprouvé une perte ou une métamorphose. A l'exception des sabots, des poils, des plumes, et de la portion terreuse des os, le carnivore peut s'assimiler le corps entier de l'animal qu'il a dévoré. En conséquence, on peut dire que, pour entretenir sa propre vie, le carnivore se consomme lui-même. Cette expression est exacte, chimiquement parlant; car les substances qui lui servent d'aliments sont identiques aux principes constitutifs des organes, qu'elles sont destinées à renouveler.

Il semble au premier abord que, chez les herbivores, la nutrition s'effectue d'une manière toute différente. Les individus qui appartiennent à cette classe possèdent un appareil digestif plus compliqué : ils se nourrissent de végétaux, lesquels, comparativement au volume de l'animal, ne contiennent que fort peu d'azote. On a donc dû se demander aux dépens de quelles substances se forme le sang qui sert ensuite au développement des organes de ces animaux. On peut actuellement donner une réponse positive à cette question. Les recherches chimiques ont fait voir que toutes les parties végétales qui sont susceptibles de servir à la nutrition des herbivores, contiennent certains principes immédiats riches en azote, et l'expérience de chaque jour démontre que la quantité de matières végétales, dont ces animaux ont besoin pour leur nutrition et l'entretien des fonctions organiques, est d'autant moindre qu'elles renferment une plus grande proportion d'azote; les substances non-azotées sont incapables de servir à la nutrition. On trouve, à la vérité, de

l'azote dans tous les végétaux sans exception, et même dans chacune de leurs parties; mais celles qui en contiennent le plus sont les graines des céréales, des pois, des lentilles, des haricots, les racines et les sucs des légumes proprement dits.

Les substances azotées que l'on rencontre dans les végétaux peuvent se réduire à trois formes qu'il est facile de distinguer les unes des autres par leurs caractères extérieurs. Deux de ces substances sont solubles dans l'eau; la troisième ne s'y dissout pas.

Lorsqu'on laisse reposer des sucs végétaux que l'on vient d'exprimer, on voit au bout de quelques minutes se former dans le liquide un précipité gélatineux, ordinairement de couleur verte. En traitant ce précipité par des liquides qui dissolvent sa matière colorante, on obtient une substance d'un blanc grisâtre, bien connue des pharmaciens sous le nom de fécule des sucs végétaux. C'est là un des composés végétaux azotés propres à la nutrition des animaux : on l'appelle *fibrine végétale*. Ce principe est surtout abondant dans le suc des graminées; mais nulle part il ne se trouve en aussi forte proportion que dans les grains de froment et dans les semences des céréales en général. Il est facile, au moyen d'une simple opération mécanique, d'extraire la fibrine végétale presque pure de la farine de froment. Dans cet état, elle a reçu le nom de gluten. Cependant, la propriété visqueuse qui lui a valu ce nom n'appartient pas à la fibrine végétale elle-même. Cette viscosité résulte de ce qu'ici la fibrine se trouve mélangée avec une petite quantité d'une substance étrangère, qui d'ailleurs

n'existe pas dans les graines des autres espèces de céréales.

Ainsi que le prouve son mode d'extraction, la fibrine végétale est insoluble dans l'eau. Néanmoins, il n'est pas permis de douter qu'elle n'existe, à l'état de dissolution, dans les sucs de la plante vivante ; ce n'est que plus tard qu'elle s'en sépare, de même que la fibrine du sang.

Le second principe végétal azoté se rencontre à l'état de dissolution dans le suc des plantes : il ne s'en sépare pas à la température ordinaire, mais seulement lorsqu'on chauffe le suc végétal jusqu'au degré de l'ébullition. Quand on fait bouillir du suc de légumes préalablement clarifié, par exemple du suc de chou-fleur, d'asperge, de chou, de navet, etc., il s'y produit un caillot qui, sous le rapport de l'aspect extérieur et des propriétés, ne diffère aucunement du caillot que l'on obtient en soumettant à la chaleur de l'ébullition du sérum du sang ou du blanc d'œuf étendu d'eau. C'est pourquoi on lui a donné le nom d'*albumine végétale.* Cette substance azotée se rencontre principalement dans certaines semences, dans les noix, les amandes et autres graines où la fécule, qui existe dans les céréales, se trouve remplacée par de l'huile ou de la graisse.

Le troisième principe azoté que donnent les plantes est la *caséine végétale.* Elle existe surtout dans les pois, les lentilles et les haricots. La caséine est, comme l'albumine, soluble dans l'eau; mais elle se distingue de celle-ci, en ce que sa dissolution ne se coagule pas par la chaleur. Lorsque l'on fait évaporer et chauffer cette dissolution, elle se recouvre d'une pellicule à sa superficie ; mais dès qu'on la

traite par un acide, elle se comporte comme le lait des animaux, c'est-à-dire qu'il s'y forme un caillot.

Ces trois principes azotés, à savoir la fibrine, l'albumine et la caséine végétales, sont les véritables substances alimentaires azotées des animaux herbivores. Quant aux autres principes azotés que l'on rencontre dans les plantes, ou bien les animaux repoussent ces plantes si elles sont vénéneuses et médicinales, ou bien l'azote qui s'y trouve est en proportion tellement minime, qu'elles ne peuvent contribuer à l'accroissement de la masse du corps. L'analyse chimique des trois substances dont nous parlons a fait découvrir ce fait intéressant que toutes trois contiennent les même éléments organiques combinés dans les mêmes proportions pondérales. Un autre fait plus important encore, c'est l'identité de leur composition avec celle des principes essentiels du sang, c'est-à-dire de la fibrine et de l'albumine. Les trois principes azotés végétaux qui nous occupent se dissolvent comme la fibrine et l'albumine du sang dans l'acide chlorhydrique concentré, en donnant à la dissolution la même couleur bleu indigo. Sous le rapport des propriétés physiques, la fibrine et l'albumine végétales ne présentent aucune différence avec la fibrine et l'albumine animales. Nous devons insister ici d'une façon toute particulière sur la valeur du mot identité de composition. Nous ne voulons pas seulement indiquer par là une simple ressemblance; nous voulons encore dire que les proportions de soufre, de phosphore, de chaux et de phosphates alcalins sont absolument les mêmes.

Grâce à ces découvertes fécondes, la chimie nous a dévoilé l'admirable simplicité de la nutrition chez les animaux,

c'est-à-dire de la formation, du développement et de la conservation des organes qui constituent l'individu. En effet, les substances végétales qui, une fois digérées par les animaux, vont servir à la formation du sang, contiennent déjà tout formés les principes essentiels du sang, la fibrine et l'albumine. En outre, toutes les plantes contiennent une certaine quantité de fer, élément que nous retrouvons dans la matière colorante du sang.

La fibrine végétale et animale, et l'albumine végétale et animale ne présentent presque aucune différence de forme. Lorsque les substances que l'on donne à manger aux animaux sont dépourvues de ces principes azotés, la nutrition s'arrête chez eux. Quand, au contraire, ses aliments contiennent de l'albumine et de la fibrine végétales, l'animal herbivore y trouve précisément des substances identiques à celles qui servent à l'entretien des organes du carnivore. Il résulte de là que ce sont les organismes végétaux qui créent le sang de tous les animaux. En effet, les carnivores en s'assimilant le sang et la chair des herbivores, ne s'assimilent, à proprement parler, que les matières végétales qui ont servi à la nutrition de ces derniers. La fibrine et l'albumine végétales introduites dans l'estomac de l'animal herbivore, y prennent absolument la même forme que la fibrine et l'albumine animales dans l'estomac de l'animal carnivore.

La conséquence rigoureuse de ce qui précède, c'est que le développement des organes d'un animal et leur accroissement en masse et en volume dépendent de l'absorption de certaines substances qui sont identiques aux principes essentiels du sang. En ce sens, nous pouvons dire de l'organisme

animal, à l'égard du sang, qu'il se borne à lui donner sa forme et qu'il est incapable d'en fabriquer au moyen de substances qui ne seraient pas identiques aux principes essentiels de ce liquide. Cependant nous ne sommes pas pour cela en droit d'affirmer que l'organisme ne peut pas produire d'autres combinaisons. Car nous savons au contraire qu'il détermine une nombreuse série d'autres combinaisons qui, par leur composition, diffèrent des principes essentiels du sang; mais il lui est impossible de fabriquer ces derniers, qui sont le point de départ de la série.

L'organisme animal est, pour ainsi dire, un végétal d'un ordre supérieur, qui se développe précisément aux dépens des substances qu'une plante ordinaire ne produit qu'au moment même où elle va périr. En effet, dès que la plante a porté ses semences, elle meurt, ou du moins elle achève alors une des périodes de son existence.

Dans cette série infinie de combinaisons qui commence par les principes nutritifs des plantes, c'est-à-dire l'acide carbonique, l'ammoniaque et l'eau, et qui embrasse les composés les plus complexes que l'on trouve dans la substance cérébrale des animaux, il n'existe ni lacune ni interruption. Le dernier produit de l'activité formatrice des végétaux constitue précisément la première substance qui soit capable de servir à la nutrition des animaux. Mais la substance des tissus celluleux et membraneux des nerfs et du cerveau ne saurait être produite par une plante. L'activité formatrice des végétaux cessera de nous paraître aussi miraculeuse, si l'on réfléchit que la formation des éléments du sang par les plantes n'est pas le seul fait de ce genre et ne doit pas nous

surprendre davantage que les suivants. L'on rencontre, par exemple, de la graisse de bœuf et de mouton dans les amandes de cacao, de la graisse humaine dans l'huile d'olive; on trouve les éléments du beurre de vache dans le beurre de palmier; enfin on voit certaines semences oléagineuses contenir de la graisse de cheval et de l'huile de poisson.

LETTRE XX.

Accroissement de l'organisme animal. — Usage du beurre et du lait. — Métamorphoses des tissus. — Nutrition des carnivores. — Nutrition du cheval.

Les détails dans lesquels je viens d'entrer expliquent, du moins je l'espère, d'une manière satisfaisante, la manière dont s'accroît la masse de chacun des organes qui constituent l'animal. Il me reste encore à parler du rôle que jouent dans l'organisme animal les substances qui ne contiennent pas d'azote, telles que le sucre, la fécule, la gomme, la pectine, etc.

La plus nombreuse des classes animales, c'est-à-dire toute la catégorie des herbivores, ne saurait vivre, si ses aliments ne renfermaient une certaine quantité de ces principes. En effet, nous voyons que la vie de tous ces animaux s'éteint promptement, quand les matières dont ils se nourrissent ne renferment pas une quantité suffisante des composés que je viens de nommer. Mais ce que nous disons de la nourriture des herbivores s'applique également à celle des carnivores, du moins durant la première période de leur vie; car, dans les premiers temps du développement de ces animaux, leurs aliments contiennent certains principes non

azotés, dont la présence cesse d'être nécessaire quand l'organisme animal est parvenu à l'âge adulte. La nutrition, chez les petits des carnivores, s'opère évidemment de la même manière que chez les herbivores. Le développement des jeunes animaux de ces deux grandes classes dépend également de l'absorption d'un liquide particulier qui est sécrété par l'organisme de la mère. Ce liquide est le lait.

Le lait ne contient qu'un seul principe azoté, la *caséine*. Indépendamment de ce principe, les éléments essentiels du lait sont le beurre (matière grasse) et le sucre de lait. C'est le principe azoté du lait, la caséine qui, chez le jeune animal, soit carnivore, soit herbivore, sert à la formation du sang, de la fibre musculaire, de la substance celluleuse, des tissus nerveux et osseux, attendu que le beurre et le sucre de lait ne renferment point d'azote. En faisant l'analyse de la caséine, les chimistes ont découvert un fait qui, après ce qui à été dit plus haut, ne devra plus exciter notre étonnement : c'est que la composition de la caséine est identique avec celle des principes essentiels du sang, à savoir la fibrine et l'albumine. Mais ce n'est pas tout encore, la comparaison des proprietés de la caséine du lait avec celles de la *caséine végétale* a démontré que ces deux substances sont identiques sous tous les rapports; en sorte que certaines plantes, comme les pois, les haricots, les lentilles, sont capables de produire une substance semblable à celle qui naît du sang de la mère et sert à former le sang que contient le corps du jeune animal. La caséine se distingue de la fibrine et de l'albumine par sa solubilité extraordinaire et par son incoagulabilité malgré l'action de la chaleur.

Il résulte de ce que nous venons de dire, que le jeune animal qui reçoit de la caséine, absorbe le propre sang de sa mère, du moins quant à son élément principal. Ainsi donc, pour que la caséine se transforme en sang, il n'est nullement besoin de la présence d'une troisième substance; et d'un autre côté, lorsque le sang de la mère se convertit en caséine, aucun des éléments du sang maternel ne se sépare. L'analyse chimique fait voir que la caséine contient de la substance terreuse des os en beaucoup plus grande quantité que le sang lui-même. Cette substance terreuse existe dans le lait à un état de solution extrême, de sorte qu'après avoir été absorbée par le jeune animal, elle peut circuler et se déposer dans toutes les parties du corps. Ainsi, pendant la première période de la vie, le développement et l'accroissement des organes chez le jeune animal dépendent de l'absorption d'une substance qui, sous le rapport de sa composition organique, est identique avec les principes essentiels du sang.

Maintenant il s'agit de savoir à quoi servent la matière grasse du beurre et le sucre de lait. Comment se fait-il que ces substances soient également indispensables à la vie des jeunes animaux? Le beurre et le sucre de lait ne contiennent pas de bases fixes, pas de chaux, pas de soude, pas de potasse. Le sucre de lait possède une composition analogue à celle des espèces ordinaires de sucre, à celle de l'amidon, de la gomme, de la pectine. Or, toutes ces substances sont composées de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, et ces deux derniers éléments s'y trouvent précisément dans la proportion nécessaire pour former de l'eau.

Ces composés non azotés ingérés en même temps que les principes azotés des substances alimentaires augmentent donc la quantité de carbone introduite dans l'économie ou bien celle de carbone et d'hydrogène, ainsi que cela a lieu dans le cas du beurre. De là résulte dans l'organisme la présence d'un excès d'éléments qui ne peuvent être employés à la formation du sang, attendu que les aliments azotés contiennent déjà tout le carbone nécessaire à la formation de la fibrine et de l'albumine.

C'est aujourd'hui un fait incontestable que, chez un carnivore adulte qui n'augmente ni ne diminue sensiblement de poids d'un jour à l'autre, la quantité d'aliments qu'il consume, celle d'oxygène qu'il absorbe et les pertes qu'éprouve l'organisme sont entre elles dans un rapport parfaitement déterminé. Le carbone de l'acide carbonique exhalé, celui de l'urine, l'azote de l'urine, et l'hydrogène qui est éliminé sous forme d'ammoniaque et d'eau, tous ces éléments pris ensemble doivent peser précisément autant que le carbone, l'hydrogène et l'azote des tissus métamorphosés, et par conséquent autant que le carbone, l'azote et l'hydrogène des aliments, attendu que ces derniers remplacent exactement ce que les tissus perdent incessamment. S'il n'en était pas ainsi, il serait impossible que le poids de l'animal restât invariable.

Cependant, chez le petit d'un animal carnivore en train de se développer, le poids du corps, au lieu de demeurer le même, va au contraire chaque jour en augmentant d'une quantité déterminée. D'après ce fait, nous pouvons admettre que le travail de l'assimilation, chez le jeune animal, est plus actif, plus énergique que le travail de désassimilation

éprouvé par les tissus à cette époque de la vie. Si ces deux modes d'activité vitale avaient la même intensité, le poids de l'animal n'augmenterait pas, et si la déperdition était supérieure à l'assimilation, il est évident que ce poids diminuerait.

C'est la caséine du lait qui fournit au jeune animal les principes essentiels de son propre sang. Il s'opère également chez lui une métamorphose incessante des tissus déjà formés, puisqu'il y a sécrétion de bile et d'urine; la substance des tissus métamorphosés est éliminée du corps sous forme d'urine, d'acide carbonique et d'eau. Quant au beurre et au sucre de lait absorbés par le jeune animal, ils disparaissent également; mais on n'en découvre aucune trace dans les féces. Le beurre et le sucre de lait sont évacués sous forme d'eau et d'acide carbonique, et leur transformation en produits oxygénés démontre de la façon la plus évidente que la quantité d'oxygène absorbée est bien supérieure à celle qui est nécessaire pour convertir en acide carbonique et en eau le carbone et l'hydrogène provenant des tissus métamorphosés.

Les tissus organisés sont bien, il est vrai, pendant la première période de la vie des jeunes animaux, le théâtre de métamorphoses et de déperditions incessantes; mais ces dernières cèdent, dans un temps donné, sous forme de produits respiratoires, beaucoup moins de carbone et d'hydrogène qu'il n'en faudrait pour convertir en acide carbonique et en eau tout l'oxygène absorbé. En conséquence, la substance organique elle-même éprouverait une rapide diminution de poids et serait bientôt entièrement brûlée par l'oxygène, si

l'organisme ne recevait pas d'une autre source une certaine quantité de carbone et d'hydrogène. L'augmentation progressive de la masse du corps et le développement non interrompu des organes du jeune animal ne peuvent donc s'opérer que grâce à la présence de substances étrangères dont le rôle consiste purement et simplement à protéger, contre l'action destructive de l'oxygène, les organes en voie de développement : or, c'est en se combinant elles-mêmes avec l'oxygène que ces substances protègent l'organisme. Les organismes eux-mêmes ne peuvent pas, sans être consumés, rester exposés à l'action de l'oxygène, c'est-à-dire qu'il serait impossible au corps du jeune animal de s'accroître et de se développer, si la quantité d'oxygène absorbée n'était pas inférieure à celle du carbone et de l'hydrogène introduits avec les aliments.

Les considérations précédentes ne laissent aucun doute sur le but que s'est proposé la nature en ajoutant aux aliments des jeunes mammifères certaines substances non azotées, qui ne peuvent servir à la nutrition proprement dite ou à la formation du sang ; on voit clairement pourquoi elles cessent complétement d'être nécessaires à l'entretien de la vie dès que l'animal est parvenu à l'âge adulte.

La nutrition, chez les animaux carnivores, se présente donc à nous sous deux formes distinctes. L'une est tout simplement la répétition de ce que l'on observe chez les herbivores et les granivores. En effet, chez les animaux qui appartiennent à cette dernière classe, nous voyons que, pendant toute la durée de leur vie, leur existence dépend de l'absorption de substances ayant une composition identique ou du moins analogue à celle du sucre de lait. Tous les aliments végétaux

dont ils se nourrissent contiennent une certaine quantité d'amidon (fécule), de gomme, de sucre ou de pectine. Il est facile de comprendre le rôle que jouent dans la nutrition des herbivores ces substances non azotées, si l'on remarque combien est faible la quantité de carbone que ces animaux trouvent dans leurs aliments azotés. En effet, cette dernière quantité de carbone n'est nullement en rapport avec celle de l'oxygène qui pénètre dans l'organisme par la voie de la peau et des poumons, et qui est ensuite exhalée sous forme d'acide carbonique.

Un cheval, par exemple, peut se porter parfaitement bien si on lui donne par jour 240 onces ou 15 livres de foin, et 72 onces ou 4,1/2 livres d'avoine. Or, cette quantité de substances alimentaires contient 4,45 onces d'azote, ainsi que l'a démontré l'analyse chimique. (Le foin renferme 1,5 pour 100 d'azote, et l'avoine 2,2 pour 100.) Maintenant, représentons-nous cet azote passé dans le sang, c'est-à-dire faisant partie de la fibrine et de l'albumine du sang, et admettons en outre que ce liquide contienne 80 pour 100 d'eau. Il résulte de là que le cheval ne reçoit que 4,45 onces d'azote qui correspondent à un peu plus de 8 livres de sang; mais les aliments où se trouve cet azote ne contiennent que 14,4 onces de carbone combiné avec lui, c'est-à-dire sous forme de fibrine et d'albumine.

Il n'est pas besoin d'autres calculs pour admettre qu'un cheval doit inspirer et expirer un volume d'air plus considérable que celui qui est inspiré et expiré par l'homme. Il doit donc absorber une plus grande quantité d'oxygène que ce dernier, et par conséquent aussi exhaler une plus grande

quantité d'acide carbonique. Or, un homme adulte consomme chaque jour pour environ 14 onces de carbone, et la détermination de Boussingault, d'après laquelle un cheval expire 79 onces de carbone par jour, ne saurait être très-éloignée de la vérité. Il résulte de là que le cheval ne trouve dans les substances azotées dont il se nourrit, que la cinquième partie environ du carbone nécessaire à l'entretien de sa respiration. Aussi voyons-nous que la sagesse du Créateur a ajouté à tous ses aliments, sans exception, les quatre cinquièmes de carbone qui manquent dans les substances azotées. Ce carbone supplémentaire se présente sous diverses formes, sous celle d'amidon, de sucre, etc.; et grâce à la présence de cet élément, les animaux herbivores peuvent résister à l'action destructive de l'oxygène.

Il est évident que chez les animaux herbivores dont les aliments contiennent une si faible proportion de principes susceptibles de se transformer en sang, la métamorphose des tissus et par conséquent leur renouvellement et leur reproduction s'opèrent beaucoup moins rapidement que chez les animaux carnivores. Si les choses ne se passaient pas ainsi, la végétation aurait beau être mille fois plus riche qu'elle ne l'est, elle ne pourrait suffire à leur nutrition. Le sucre, la gomme et l'amidon ne seraient plus nécessaires à l'entretien de leur vie, attendu que les produits carbonés de la décomposition des organes des animaux contiendraient assez de carbone pour suffire aux besoins de la respiration.

LETTRE XXI.

Application des faits qui précèdent à l'espèce humaine. — Division des aliments de l'homme. — Usages de la gélatine.

Appliquons maintenant à notre propre espèce les principes que nous avons établis dans les deux lettres qui précèdent.

Pour trouver de quoi suffire à sa consommation, l'homme exclusivement carnivore a besoin d'une immense étendue de terrain, plus vaste encore que celle qui est nécessaire au lion et au tigre, parce que l'homme, quand l'occasion s'offre à lui, tue sans manger sa proie.

Une tribu de chasseurs, enfermée dans un espace étroit dont elle ne peut sortir, est dans l'impossibilité absolue de se multiplier. Les individus de cette tribu ne peuvent puiser le carbone nécessaire à leur respiration que dans la chair des animaux. Or, sur l'espace limité que nous supposons, il ne peut vivre qu'un fort petit nombre de bêtes sauvages. Ce sont les plantes qui fournissent à celles-ci les éléments constitutifs de leur sang et de leurs organes ; puis, ces mêmes éléments vont servir à former le sang et les organes des Indiens qui vivent exclusivement du produit de leur chasse. Mais ces Indiens ne trouvent pas dans leur nourriture toute

animale les substances non azotées qui, pendant la vie des animaux, servaient à entretenir la respiration de ces derniers. Chez l'homme carnivore, c'est le carbone de la chair et du sang qui doit remplacer celui de l'amidon et du sucre. Mais 15 livres de chair ne contiennent pas plus de carbone que 4 livres d'amidon. Ainsi donc, tandis qu'un Indien, avec un seul animal et un égal poids d'amidon, pourrait entretenir sa vie et sa santé pendant un certain nombre de jours, il lui faut, pour se procurer le carbone nécessaire à sa respiration durant le même espace de temps, consommer cinq animaux.

Il est aisé de voir combien est intime la connexion qui existe entre l'agriculture et la multiplication de l'espèce humaine. L'agriculture en effet n'a qu'un seul but : c'est de produire, dans le plus petit espace possible, la plus grande quantité possible de substances susceptibles de servir à l'assimilation et à la respiration. Ainsi d'un côté, les céréales et les légumes nous offrent dans l'amidon, le sucre et la gomme qu'ils contiennent, le carbone qui protége nos organes contre l'action destructive de l'oxygène atmosphérique et qui produit dans l'organisme la chaleur indispensable à la vie. D'un autre côté, nous trouvons dans ces mêmes végétaux, de la fibrine, de l'albumine et de la caséine végétales qui servent immédiatement à la formation de notre sang et médiatement au développement des diverses parties de notre corps.

L'homme, qui se nourrit exclusivement de chair, respire, comme l'animal carnivore, aux dépens des substances qui résultent de la métamorphose de ses propres tissus. De même que le lion, le tigre, l'hyene renfermés dans les cages de nos

ménageries, sont constamment en mouvement afin d'accélérer la mutation de leurs tissus et de produire ainsi la substance indispensable à l'entretien de leur respiration, de même l'Indien, dans le même but, est forcé de se soumettre aux courses et aux exercices les plus fatigants; il est obligé d'user ses forces uniquement afin de produire la substance nécessaire à sa respiration.

La civilisation est l'économie de la force. La science nous enseigne les procédés les plus simples pour obtenir le plus grand effet avec la plus petite dépense de force possible. Elle nous enseigne également, un moyen étant donné, à en obtenir la plus grande somme de force possible. La dépense inutile ou simplement surabondante de force, soit dans l'agriculture, soit dans l'industrie, soit dans la science, soit enfin dans la politique, voilà ce qui caractérise la barbarie ou l'absence de civilisation.

Les substances alimentaires qui servent à la nourriture de l'homme doivent naturellement, ainsi qu'il est facile de le comprendre d'après ce qui précède, se diviser en deux classes: en aliments azotés, et en aliments non azotés. Les premiers possèdent la faculté de se transformer en sang, les seconds ne la possèdent pas. Ainsi donc, ce sont les substances aptes à se convertir en sang qui fournissent les éléments des tissus et des organes. Les substances non azotées servent uniquement, dans l'état normal, à entretenir la respiration et à produire la chaleur animale.

Nous donnons les noms d'aliments plastiques aux substances azotées, et celui d'aliments respiratoires aux substances qui ne contiennent pas d'azote.

Les *aliments plastiques* sont :

La fibrine végétale,
L'albumine végétale,
La casésine végétale.
La chair,
Le sang des animaux.

Les *aliments respiratoires* sont :

La graisse,
L'amidon,
La gomme,
Les diverses espèces de sucre,
La pectine,
La bassorine, etc.,
Le vin,
La bière,
L'eau-de-vie.

Les recherches auxquelles les chimistes se sont livrés ont établi comme un fait général contre lequel ne s'élève pas une seule expérience, que tous les principes azotés des plantes ont la même composition que les principes essentiels du sang. Tout corps azoté dont la composition diffère de celle de la fibrine, de l'albumine et de la caséine, est incapable d'entretenir la vie des animaux. L'organisme animal possède, sans contredit, le pouvoir de produire, à l'aide des principes constitutifs du sang, la substance propre des tissus celluleux et membraneux, des nerfs, du cerveau, ainsi que les éléments organiques des tissus tendineux, cartilagineux et osseux. Mais il faut pour cela que le sang que reçoit l'animal soit déjà complétement formé, du moins au point de vue chimique; car il n'acquiert sa forme qu'au sein de l'économie. Lorsqu'il en est autrement, la formation du sang, et, par conséquent la vie, ne tardent pas à cesser.

La grande discussion au sujet de la propriété nutritive de la

gélatine animale (bouillon d'os), discussion qui a traîné des années entières devant l'Académie des Sciences de Paris, peut aujourd'hui se résoudre de la façon la plus simple. Il est maintenant facile d'expliquer comment il se fait que les tissus qui donnent de la colle, c'est-à-dire la gélatine des os et des membranes, soient impropres à la nutrition et à l'entretien des fonctions de la vie. C'est que leur composition diffère de celle de la fibrine et de l'albumine du sang : évidemment tout cela se réduit à dire que ceux d'entre les organes animaux qui préparent le sang, ne possèdent pas la puissance de déterminer une métamorphose dans l'arrangement des éléments de la gélatine ou des tissus qui donnent soit de la colle, soit de la chondrine. L'organisme, en effet, ne jouit pas de la faculté de décomposer la gélatine, ou mieux, d'en séparer certains éléments, de façon à ce qu'elle puisse se convertir en albumine et en fibrine. Si l'organisme possédait réellement ce pouvoir, il serait impossible de comprendre pourquoi, chez les animaux qui périssent d'inanition, les cartilages, les tendons ou les membranes conservent leur forme et leurs propriétés, pendant que toutes les parties susceptibles de se dissoudre disparaissent graduellement. Tous les membres du corps conservent leurs connexions, ce qu'ils doivent à la présence de tissus gélatineux.

D'un autre côte, cependant, nous voyons que la gélatine des os dévorés par un chien est absorbée tout entière ; car on ne trouve dans les excréments de cet animal que la portion terreuse des os Cette observation s'applique également à l'homme qui se nourrit d'aliments où la proportion de gélatine est plus forte que celle des autres substances. Tel est le

bouillon, par exemple. Comme on ne retrouve de gélatine ni dans l'urine, ni dans les féces, il est évident qu'elle a subi une modification particulière et qu'elle doit remplir une fonction quelconque dans l'économie. Il est difficile, si l'on ne voit pas les expériences qui prouvent le fait, de se faire une idée de la force avec laquelle la gélatine résiste à la décomposition, malgré l'action des agents les plus énergiques. Cependant on ne saurait douter que la gélatine ne soit éliminée de l'économie animale sous une forme différente de celle sous laquelle elle y a pénétré.

Quand on considère la transformation de l'albumine du sang en une partie d'un organe qui contient de la fibrine, l'identité de composition des deux substances rend cette métamorphose facile à concevoir. C'est cette identité de composition qui fait que nous trouvons très compréhensible, au point de vue chimique, le fait de la conversion d'une subtance soluble et dissoute, de l'albumine par exemple, en une autre substance vivante insoluble, comme la fibrine musculaire. Ainsi donc, on ne saurait rejeter comme indigne d'examen l'hypothèse suivant laquelle la gélatine qui a été introduite à l'état de dissolution dans l'organisme y redevient cellule, membrane, et trame du tissu osseux. Il n'est pas absurde d'admettre qu'elle peut servir à réparer les pertes matérielles qu'éprouvent les tissus gélatineux et à accroître la masse de ces tissus. Si la nutrition de toutes les parties du corps est affectée par une altération quelconque survenue dans la santé de l'individu, la force organique en vertu de laquelle les éléments du sang se transforment en cellules et en membranes, doit nécessairement diminuer

dans l'état de maladie, alors même que les organes formateurs du sang ne participeraient en rien à la souffrance générale. Chez l'homme malade, l'énergie de la force vitale et le pouvoir qu'elle possède de déterminer des métamorphoses, doivent s'affaiblir dans l'appareil digestif aussi bien que dans toutes les autres parties du corps. La médecine pratique nous apprend que, dans ces circonstances, l'administration de tissus gélatineux à l'état de dissolution exerce une influence bienfaisante marquée sur le malade. Lorsqu'on les donne sous la forme la plus propre à l'assimilation (comme bouillon de viande ou d'os, etc.) les tissus gélatineux servent à économiser la force vitale. Il en est ici comme de l'estomac, qui se fatigue moins lorsqu'il reçoit des aliments convenablement préparés.

La fragilité des os des herbivores tient évidemment à la faiblesse des organes de l'économie qui ont pour fonction de métamorphoser les éléments du sang en cellules organiques. Si nous en croyons les récits des médecins qui ont résidé en Orient, les femmes turques, en se nourrissant de riz et en s'administrant fréquemment des lavements de bouillon, ont trouvé un excellent moyen d'augmenter chez elles la production du tissu cellulaire et de la graisse.

LETTRE XXII.

Circulation de la matière dans le règne animal et végétal. — L'océan. — L'agriculture. — Rétablissement de l'équilibre dans le sol. Causes de l'épuisement des terrains. — Virginie. — Angleterre. — Bénéfice obtenu par l'importation d'os. — Insuffisance de l'agriculture empirique. — Nécessité de principes scientifiques. — Influence de l'atmosphère. — Matières salines et terreuses qui constituent le sol.

Tout le monde sait que, dans l'espace immense et cependant limité de l'océan, le règne végétal et le règne animal sont sous la dépendance réciproque l'un de l'autre. Ainsi les animaux marins puisent dans les plantes marines tous les éléments dont se composent leurs propres organes : mais, après la mort de ces animaux, les éléments qui entraient dans leur composition reprennent leur forme primitive, et servent alors à la nutrition de nouvelles générations de plantes.

L'oxygène que les animaux marins, chaque fois qu'ils respirent, enlèvent à l'air qui se trouve à l'état de dissolution dans l'eau de la mer, est plus tard restitué à l'eau par les phénomènes vitaux dont les plantes marines sont le siége. L'air dissous dans la mer est plus riche en oxygène que l'air atmosphérique; car le premier contient 32 à 33 volumes

d'oxygène p. 0/0, tandis que le second n'en contient que 21. L'oxygène de l'eau se combine avec les éléments organiques des animaux morts, lorsque ceux-ci tombent en putréfaction; il transforme leur carbone en acide carbonique et leur hydrogène en eau, en même temps que leur azote reprend la forme d'ammoniaque.

Ainsi donc, il s'opère dans l'océan, sans qu'aucun élément y entre ou en sorte, une circulation incessante dont la durée est infinie, mais dont l'étendue est limitée; car, dans un espace limité, les substances susceptibles de servir à la nutrition des plantes ne peuvent exister qu'en quantité également limitée.

Nous savons que les plantes marines ne sauraient puiser par leurs racines dans l'humus les principes assimilables nécessaires à leur nutrition. Prenons pour exemple le *fucus gigantius:* cette plante, suivant Cook, atteint une hauteur de 360 pieds, et un seul individu de cette espèce, avec ses ramifications et ses feuilles, nourrit des milliers d'animaux marins; cependant sa racine consiste en un petit corps qui n'est pas plus gros que le poing. Quelle nourriture une plante aussi gigantesque peut-elle tirer d'un rocher nu à la surface duquel on ne remarque pas le moindre changement. Il est évident que ces plantes ont simplement besoin d'un point d'attache qui les empêche de changer de place, ou bien d'un contre-poids qui fasse équilibre à leur pesanteur spécifique, laquelle est inférieure à celle de l'eau. Ces végétaux vivent dans un milieu qui fournit à chacune de leurs parties les substances assimilables dont elle a besoin. L'eau de la mer contient non-seulement l'acide carbonique et l'ammo-

niaque, mais encore les phosphates et les carbonates alcalins, ainsi que les sols terreux qui sont indispensables au développement des plantes marines, et que nous retrouvons constamment dans les cendres obtenues par la calcination de ces végétaux.

Il est démontré par toutes les observations faites à ce sujet, que les conditions nécessaires à l'existence des plantes marines sont les mêmes que celles qui sont nécessaires à la vie des plantes terrestres. Mais ces dernières ne vivent pas, comme les végétaux marins, dans un milieu qui présente à la surface tout entière de la plante les divers éléments dont a besoin chacune de ses parties. La vie de ces végétaux exige le concours de deux milieux, le sol et l'atmosphère : le premier doit contenir les principes élémentaires qui ne se trouvent pas dans le second.

Comment est-il possible que l'on ait jamais révoqué en doute le rôle que jouent dans le développement des végétaux le sol et ses principes constitutifs? Comment est-il possible qu'il y ait eu une époque où les éléments minéraux des plantes n'étaient pas regardés comme essentiels et nécessaires à leur vie? L'étude des phénomènes qui se passent à la surface de la terre a fait reconnaître qu'elle est le théâtre d'une circulation semblable à celle qui existe dans l'océan : on y a observé les mêmes séries de métamorphoses incessantes, le même équilibre, à chaque instant troublé, et à chaque instant rétabli.

L'expérience a démontré aux agriculteurs que la quantité de matières végétales produites sur une superficie donnée de terrain augmente quand on ajoute à ce dernier certaines

substances qui primitivement faisaient partie de ce même terrain, mais qui lui ont été enlevées par les plantes. Nous voulons parler des excréments de l'homme et des animaux. Ces excréments, en effet, proviennent des plantes : ils représentent précisément les matières qui après avoir été, sous forme d'aliments, assimilées par les animaux, reprennent, soit pendant le cours de la vie de ceux-ci, soit après leur mort, la forme qu'elles avaient auparavant, c'est-à-dire à l'époque où elles faisaient partie constituante du sol. Nous savons que l'atmosphère ne contient aucune de ces substances et par conséquent ne peut les remplacer. Nous savons en outre que, en les enlevant à la terre, l'on diminue sa productivité et l'on détruit enfin sa fertilité, fertilité, du reste, que l'on peut rétablir et augmenter en fournissant au sol une quantité suffisante de ces mêmes substances.

Après tant de recherches et d'expériences décisives sur l'origine des principes qui constituent les organismes animaux et végétaux, sur l'utilité des alcalis, de la chaux et des phosphates, est-il possible de méconnaître encore les principes sur lesquels doit reposer toute agriculture rationnelle?

L'art de l'agriculture peut-il se fonder sur autre chose que sur le rétablissement de l'équilibre troublé? Peut-on s'imaginer qu'un pays riche, fertile, possédant en outre un commerce florissant, et exportant depuis plusieurs siècles les produits de son sol sous forme de bestiaux et de céréales, soit capable de conserver sa fertilité, si d'autre part son commerce ne lui rend pas, sous forme d'engrais, les éléments essentiels que ses terres ont perdus et que l'atmo-

sphère ne saurait lui fournir. Un pays qui se trouve dans ce cas, doit nécessairement éprouver le sort de la Virginie, cette contrée autrefois si fertile, qui aujourd'hui ne peut plus produire ni blé ni tabac, objets principaux de ses anciennes exportations.

Les grandes villes de l'Angleterre consomment non-seulement tous les produits de l'agriculture anglaise, mais encore tirent de l'étranger de grandes quantités de produits agricoles. Mais les principes minéraux nécessaires au développement des plantes ne sont pas restitués au sol. Des dispositions qui sont particulières à ce pays et qui tiennent aux habitudes et aux mœurs des habitants, rendent difficile, peut-être même impossible, de recueillir l'énorme quantité de phosphates qui, chaque jour, est emportée sous forme d'excréments liquides et solides, par les rivières. Or, les phosphates sont les principes constitutifs les plus importants du sol, quoiqu'ils n'y entrent qu'en très-faible proportion.

On a observé en Angleterre un fait remarquable, c'est qu'un grand nombre de champs qui se trouvaient épuisés de cette manière, c'est-à-dire qui ne contenaient plus de phosphates, doublèrent immédiatement de fertilité, quand on les sema de débris d'ossements (phosphate de chaux) importés du continent. Mais cette exportation d'os, si elle devait continuer longtemps dans la même proportion, épuiserait peu à peu le sol de l'Allemagne. La perte que cette dernière éprouve par ce fait est d'autant plus considérable qu'une seule livre d'os renferme autant d'acide phosphorique qu'un quintal de céréales.

La connaissance imparfaite de la nature et des propriétés

de la matière, à laquelle étaient arrivés les alchimistes, donna naissance, dans leur temps, à l'opinion que les métaux et que l'or, qui était l'objet principal de leurs recherches, naissaient d'une semence. Les alchimistes regardaient les cristaux et leurs ramifications comme les feuilles et les branches de plantes métalliques. Tous leurs efforts ne tendaient qu'à un but, à découvrir la semence de l'or et la terre propre à son développement. Ils voyaient les semences végétales ordinaires, sans rien recevoir en apparence, se développer graduellement, produire des racines, une tige et des branches, qui plus tard donnaient naissance à des fleurs et à de nouvelles semences. En conséquence, l'alchimiste espérait, s'il parvenait une fois à obtenir des semences de métaux, voir ces semences se développer et croître à la manière des végétaux.

De semblables idées ne pouvaient trouver créance que dans un temps où l'on ignorait la constitution de l'atmosphère, et où l'on n'avait aucune notion du rôle que jouent la terre et l'air dans les phénomènes vitaux dont les végétaux et les animaux sont le siége. La chimie moderne a découvert quels sont les éléments de l'eau; au moyen de ces éléments, elle est parvenue à produire de l'eau avec toutes ses propriétés; mais cependant elle ne peut pas créer ces éléments, elle les extrait au contraire de l'eau. Ainsi donc, l'eau que la chimie produit artificiellement a déjà été de l'eau.

La plupart de nos agriculteurs ressemblent aux anciens alchimistes; ils cherchent aussi une pierre philosophale, c'est-à-dire la semence merveilleuse qui doit produire au centuple, sans qu'il soit besoin de fournir aucune nourri-

ture à un sol à peine capable de porter les plantes indigènes.

L'expérience de plusieurs siècles et même de plusieurs milliers d'années ne suffit pas à l'homme pour le mettre dorénavant à l'abri de nouvelles illusions. C'est seulement dans la connaissance des vrais principes de la science qu'il peut puiser la force nécessaire pour résister à l'invasion de superstitions pareilles.

Dans l'enfance de la philosophie de la nature, on supposait que l'eau seule pouvait donner naissance à des êtres organisés. Plus tard l'on admit encore, indépendamment de l'eau, la nécessité de certains éléments atmosphériques. Enfin aujourd'hui, nous savons que d'autres conditions encore sont indispensables, et que la terre doit fournir certains éléments, en l'absence desquels les plantes ne sauraient croître et multiplier.

L'atmosphère ne contient qu'une quantité limitée de substances susceptibles de servir à la nutrition des plantes. Cependant elle doit être assez considérable pour pouvoir recouvrir toute la surface du globe d'une riche et luxuriante végétation.

Sous les tropiques et dans les contrées du globe où se trouvent réunies les conditions les plus favorables à la fertilité du sol, à savoir, un terrain convenable, une atmosphère humide et une température élevée, la végétation est à peine limitée par l'espace. Si la terre végétale manque, il s'en forme peu à peu aux dépens des végétaux qui périssent, de leurs feuilles, de leurs branches et de leur écorce. Il est évident que dans ces pays, les plantes puisent abondamment dans l'atmosphère les substances nutritives que celui-ci est

chargé de leur fournir. Au reste, il en est de même chez nous. Par les mouvements incessants dont il est agité, l'air atmosphérique vient continuellement présenter aux végétaux, en quantité suffisante, tous les éléments nutritifs aériformes dont ils ont besoin. La constitution de l'atmosphère est absolument la même dans les contrées tropicales et dans les régions arctiques, et cependant quelle énorme différence, au point de vue de la fertilité, nous offre la terre sous ces deux latitudes si opposées !

Toutes les plantes des régions tropicales, telles que le palmier oléifère, le palmier cirier, la canne à sucre, etc., comparées à nos plantes cultivées, ne contiennent qu'en faible proportion les éléments du sang nécessaires à la nutrition des animaux. Au Chili, pays où la pomme de terre est indigène et où cette plante ressemble à un buisson, la récolte de tubercules que donne un arpent de terre serait à peine suffisante pour faire vivre une famille irlandaise pendant vingt-quatre heures (Darwin). L'effet de la culture sur les plantes qui servent d'aliments est de produire en elles les principes constitutifs du sang. Si le sol ne contient pas les éléments nécessaires à la production des principes essentiels du sang, il pourra peut-être se former de l'amidon, du sucre, du ligneux, mais il ne se formera ni fibrine végétale, ni albumine, ni caséine. Si l'on veut, sur une surface donnée, obtenir une quantité de principes sanguifiables plus considérable que les plantes, à l'état sauvage ou naturel, n'en peuvent, sur une égale surface, recevoir de l'atmosphère ou du sol, il faut nécessairement créer à ces plantes une atmosphère artificielle; il faut ajouter au sol les éléments qui lui manquent.

La quantité de substances alimentaires que des plantes d'espèces différentes doivent recevoir dans un temps donné pour croître librement et se développer sans obstacle, varie extraordinairement.

Il n'y a qu'un fort petit nombre de végétaux qui soit capable de prospérer sur du sable sec, sur un sol calcaire pur, ou sur une roche nue. Ce sont pour la plupart des plantes vivaces, dont la lente croissance n'exige qu'une très-faible proportion de substances minérales. Aussi ces végétaux peuvent-ils les trouver en suffisante quantité dans un sol tout à fait infertile pour les autres espèces. Les plantes annuelles, mais surtout les plantes estivales, croissent et atteignent leur parfait développement dans un espace de temps comparativement fort court : elles ne sauraient donc prospérer sur un sol qui ne renfermerait pas en proportion suffisante les éléments minéraux nécessaires à leur développement. En conséquence, pour que ces végétaux puissent, pendant la courte durée de leur existence, arriver à un certain maximum de hauteur et de grosseur, les substances nutritives contenues dans l'atmosphère sont loin d'être suffisantes. C'est pourquoi, afin d'arriver au but qu'il se propose, l'agriculteur a besoin de créer dans le sol lui-même une atmosphère artificielle d'acide carbonique et d'ammoniaque. Quant à ce surplus de matières nutritives qui n'arrive pas à la plante par la voie de l'air et par l'intermédiaire de ses feuilles, mais qui se trouve dans le sol, elle l'y puise au moyen d'organes correspondants, c'est-à-dire, au moyen de ses racines. Toutefois, l'ammoniaque et l'acide carbonique ne suffisent pas à eux seuls pour donner naissance à un principe végétal

capable de servir à la nutrition des animaux : sans alcalis, il ne peut se former d'albumine végétale ; sans phosphates et sans sels terreux, il ne peut se produire ni fibrine, ni caséine végétales. Nous voyons que les écorces des plantes ligneuses sécrètent, sous forme excrémentitielle, une quantité très-considérable de phosphate de chaux qui est, comme nous le savons, indispensable aux céréales et aux herbes potagères pour la formation de leurs semences. Combien les arbres toujours verts, les plantes grasses, les mousses, les conifères et les fougères diffèrent de nos plantes estivales ! A chaque instant du jour, pendant toute la durée de l'hiver et de l'été, elles absorbent, par l'intermédiaire de leurs feuilles, du carbone sous forme d'acide carbonique, carbone que le sol infécond est incapable de leur fournir. Leurs feuilles coriaces ou charnues retiennent avec une grande force l'eau qu'elles ont absorbée, et, comparativement à celles des autres végétaux, elles ne perdent que fort peu par l'effet de l'évaporation.

Enfin la quantité de substances minérales que, dans leur lente croissance, les plantes dont nous parlons enlèvent au sol durant le laps d'une année entière, est extraordinairement faible si nous la comparons à celle, par exemple, qu'un poids égal de céréales soustrait au sol dans le court espace de trois mois.

C'est à l'aide de l'humidité que les plantes reçoivent du sol les alcalis et les sels qui sont nécessaires à leur développement. Aussi lorsque, pendant l'été, l'excès de la chaleur a desséché la terre, on observe un phénomène curieux qui paraissait inexplicable quand on ignorait encore le rôle important que jouent les éléments minéraux dans la vie des végé-

taux. On voit alors les feuilles qui ont paru et se sont développées les premières, c'est-à-dire les feuilles les plus rapprochées de la surface du sol, perdre leur vitalité, se flétrir, jaunir et tomber, sans que pourtant aucune cause visible exerce sur elles une influence funeste. Ce phénomène ne se montre jamais sous cette forme dans les années humides : on ne l'observe jamais sur les plantes toujours vertes, et on ne le remarque que fort rarement chez les végétaux qui poussent de longues et profondes racines. Quant aux plantes vivaces, elles ne le présentent que dans l'automne et dans l'hiver.

La cause de cette mort prématurée est aujourd'hui évidente pour tout le monde. Les feuilles, arrivées à leur état de développement parfait, absorbent continuellement de l'acide carbonique et de l'ammoniaque qu'elles puisent dans l'air ambiant. Cet acide carbonique et cet ammoniaque se convertissent en éléments de nouvelles feuilles, de nouveaux bourgeons et de nouveaux jets; mais cette métamorphose ne peut s'opérer sans le concours des alcalis et d'autres substances minérales. Lorsque le sol est humide, les plantes reçoivent constamment une quantité suffisante d'éléments minéraux : elles conservent alors leur couleur verte, signe de leur vitalité; mais si l'air devient trop sec, le sol cesse de contenir de l'eau, et les principes minéraux ne pouvant plus se dissoudre, ne sont plus absorbés par les végétaux : il se fait alors une séparation dans la plante elle-même. Les éléments minéraux qui se trouvent contenus dans les sucs des feuilles déjà complétement développées, abandonnent ces dernières et vont servir à la formation de nouvelles pousses; enfin, aussitôt que la semence se développe, la vitalité des

feuilles cesse complétement. Ces feuilles flétries ne contiennent plus que des traces de sels solubles, tandis que les nouvelles pousses et les bourgeons en renferment une quantité considérable.

D'un autre côté, lorsque le sol est trop imprégné de substances minérales solubles, nous voyons ces sels, après avoir été absorbés par les plantes, transsuder à la surface des feuilles. Ce sont surtout les plantes potagères qui nous offrent ce phénomène ; leurs feuilles se recouvrent alors d'une couche blanche. Par suite de ces exsudations, la plante devient malade ; son activité organique diminue ; sa croissance s'arrête, et lorsque cet état morbide dure trop longtemps, la plante finit par périr. Les transsudations salines de ce genre s'observent ordinairement chez les plantes à larges feuilles, et à la surface desquelles se fait une évaporation d'eau considérable.

Cette maladie attaque spécialement les navets, les pois, les cucurbitacées, lorsque, à la suite d'une longue sécheresse, ces végétaux se trouvant près de leur entier développement, le sol vient à être humecté par des pluies violentes et courtes auxquelles succède une nouvelle sécheresse. L'évaporation rapide qui s'effectue dans ce cas enlève l'eau absorbée par les racines : en conséquence, la plante se trouve renfermer une quantité de sels beaucoup plus considérable que celle qu'elle peut s'assimiler. Ces sels font donc efflorescence à la surface des feuilles, et, lorsque celles-ci sont herbacées et succulentes, il semblerait qu'elles ont été arrosées avec un liquide contenant en dissolution beaucoup plus de sels que l'organisme végétal n'est capable d'en absorber.

Sur deux plantes de même espèce, cette maladie attaque préférablement celle dont le développement est le plus avancé. Une plante, au contraire, qui a été semée plus tard ou dont la croissance a été trop lente, éprouve un effet tout différent. Les mêmes causes qui exercent une influence délétère sur la plante parfaite, favorisent au contraire le développement de celle-ci.



LETTRE XXIII.

De l'agriculture comme art et comme science. — Nécessité de la chimie; cette science doit servir de base à l'agronomie rationnelle.

Quelques-unes des lettres précédentes ont été consacrées à l'exposition de mes idées sur les différentes substances alimentaires, et sur le but que ces substances sont appelées à remplir dans l'économie animale. Dans celle-ci, je me propose de traiter un sujet qui n'a ni un moindre intérêt ni une moindre importance : je parlerai des moyens que l'on peut employer pour obtenir d'une étendue donnée de terrain la plus grande somme possible de produits susceptibles de servir à la nourriture de l'homme et des animaux.

L'agriculture est à la fois un art et une science. Comme science, elle doit comprendre la connaissance de toutes les conditions relatives à la vie des végétaux, celle de l'origine de leurs principes constitutifs, et celle enfin des sources de leur alimentation. C'est sur la science que sont fondées les règles qui doivent présider à l'art, c'est-à-dire à la pratique de l'agriculture. C'est la science qui nous enseigne la valeur, ou, en d'autres termes, nous éclaire sur la nécessité ou l'utilité des opérations mécaniques agricoles qui ont pour but,

soit de préparer et de favoriser le développement des végétaux, soit d'éloigner les influences capables de nuire à ce développement. Aucun fait empirique donné par la pratique de l'art ne peut être opposé aux véritables principes scientifiques, car ces principes dérivent immédiatement de l'ensemble de toutes les observations pratiques, et n'en sont que l'expression rationnelle. Il est impossible qu'une bonne théorie soit en contradiction avec un fait empirique bien constaté, puisqu'elle n'est pas autre chose, en définitive, qu'une série de phénomènes ramenés à leurs causes prochaines.

Un terrain dans lequel on cultive la même plante pendant un certain nombre d'années consécutives, finit tôt ou tard par devenir impropre à nourrir cette plante : dans un champ, ce phénomène aura lieu au bout de trois ans, dans un second au bout de sept, dans un troisième au bout de vingt, dans un quatrième au bout d'un siècle seulement. Une terre produit des céréales et pas de pois ; une autre produit des pois ou des navets, mais pas de tabac ; une troisième donne une abondante récolte de navets, mais est incapable de produire du trèfle. Quelle est donc la raison pour laquelle un champ perd graduellement la faculté de nourrir le même végétal ? Pourquoi voyons-nous un genre de culture prospérer dans le même terrain où un autre échoue ? *Ces questions sont complétement du domaine de la science.*

A quels moyens pouvons-nous recourir pour conserver à un champ sa fertilité à l'égard de la même plante ? Comment mettre un terrain en état de nourrir deux ou trois espèces de plantes ; comment, en un mot, le rendre propre à

toute espèce de culture? *Quant á ces nouvelles questions, c'est l'art qui les pose,* mais il est incapable de les résoudre.

Lorsque, sans être guidé par un principe rationnel et scientifique, un fermier tente des expériences dans la vue d'approprier un champ à la culture d'un végétal que ce champ ne porte pas d'ordinaire, il a fort peu de chances de succès. Des milliers d'agriculteurs font, chacun de leur côté, des essais agricoles dans toutes sortes de directions. En comparant entre eux les résultats de toutes ces expériences, on se fait une méthode de culture à l'aide de laquelle on atteint le but cherché, mais elle n'est applicable qu'à certaines localités. Il arrive fréquemment que la même méthode échoue dans les terrains contigus : cela tient à ce qu'elle manque de base scientifique. Quelle masse de capitaux et de forcés engloutissent ces tentatives purement empiriques!

La voie qu'indique la science est bien plus directe et bien plus sûre; non-seulement la science nous empêche de nous fourvoyer, mais encore elle nous offre toutes les garanties possibles de réussite. Une fois que l'on connaît l'obstacle qui s'oppose au succès, une fois que l'on est parvenu à découvrir la cause pour laquelle un terrain se refuse à deux ou trois genres de culture, il devient aisé de vaincre la difficulté : les observations les plus précises prouvent que les méthodes de culture doivent différer les unes des autres, suivant la constitution géologique du sol. Si l'on réfléchit que le basalte, le wacke gris, le porphyre, le grès, la chaux, renferment, mais en proportions variables, un certain nombre de combinaisons chimiques qui sont indispensables à la prospérité des plantes,

et qui donnent au sol sa fertilité, on comprendra aussitôt la raison des différences que nous présentent les modes de culture usités dans les divers pays. Il est évident, en effet, que la proportion de ces éléments si importants offrira des variétés correspondantes aux variétés de composition des roches, puisque c'est de leur désagrégation qu'ils proviennent.

Les céréales, le trèfle, les navets, par exemple, ont besoin de trouver dans le sol certains principes minéraux : ces plantes ne peuvent donc prospérer dans un terrain où ils manquent. La science nous a appris à découvrir, par l'analyse des cendres des végétaux, quelles sont les substances minérales essentielles à chaque espèce de plante. Par conséquent, toutes les fois que l'analyse d'un sol démontre qu'il ne contient pas l'un des éléments nécessaires à une plante, il est clair que ce terrain sera impropre à la culture de cette dernière. Nous connaissons ainsi tout à la fois la cause de la stérilité relative de ce même sol et le moyen d'y remédier.

L'empirisme attribue tous ses succès aux opérations mécaniques de l'agriculture. Il reconnaît bien la valeur de ses procédés, mais sans s'inquiéter des causes de leur utilité et de leur mode d'action. Cependant cette connaissance scientifique est de la plus haute importance; car c'est elle qui règle l'application des forces et l'emploi des capitaux de manière à ce que la dépense soit réduite au minimum et à ce que le produit s'élève au contraire au maximum. Est-il possible de croire que le déchirement du sol par la charrue ou la herse, et que le simple contact du fer suffisent pour rendre la terre fertile comme par enchantement? Personne ne le croira, et néanmoins le mode d'action de ces opérations

mécaniques n'est pas encore compris par les agriculteurs. Un labour bien fait n'est qu'une division mécanique du sol poussée plus ou moins loin; c'est une multiplication, un renouvellement de la surface du sol, qui exerce assurément une influence favorable, mais l'opération mécanique n'est toujours qu'un moyen : elle ne saurait être le but définitif.

Au nombre des effets que produit l'action du temps (surtout dans le système des jachères ou chômage des terres), la science a reconnu l'existence de certaines actions chimiques que les éléments de l'atmosphère exercent incessamment sur la surface de l'écorce solide du globe. Sous l'influence de l'acide carbonique et de l'oxygène de l'air aidée par la vapeur d'eau, par la pluie, etc., certains éléments constitutifs des substances minérales qui composent les terres cultivables, acquièrent la faculté de se dissoudre dans l'eau, et par conséquent de se séparer des éléments insolubles.

Cette action chimique, à laquelle on a poétiquement donné le nom de dent du temps, anéantit les ouvrages de l'homme et réduit peu à peu en poussière les roches les plus dures. Sous l'influence de cette action, certains éléments du sol deviennent susceptibles d'être assimilés par les plantes. Or, c'est là précisément le but des opérations mécaniques exécutées par l'agriculture. Ces opérations ont pour effet d'accélérer la désagrégation des substances minérales et de les mettre en état d'être absorbées par une nouvelle génération de plantes. Il est évident qu'un corps solide sera attaqué avec d'autant plus de rapidité par un agent chimique quelconque qu'il lui offrira une plus grande surface. Plus, dans un temps donné, ce corps présentera de points de contact

à l'action de cet agent, plus les combinaisons s'accompliront rapidement.

Lorsque le chimiste veut analyser un minéral, pour le décomposer ou augmenter la solubilité de ses éléments, il procède de la même manière que le fermier avec son champ. Il n'épargne rien, ni peine, ni temps pour réduire ce corps en une poudre aussi fine que possible. Au moyen du lavage, il sépare les particules les plus ténues des particules plus grossières, et sa patience ne recule devant aucune épreuve, parce qu'il sait que de ces précautions minutieuses, de cette division complète, dépend tout le succès de l'opération.

L'influence que l'augmentation de surface exerce sur la désagrégation d'une roche, c'est-à-dire sur les modifications que lui fait subir l'action chimique des éléments de l'atmosphère et de l'eau, est surtout évidente dans les mines d'or d'Yaquil, au Chili, dont Darwin nous a donné une description si intéressante.

Le minerai aurifère est réduit en poussière extrêmement fine au moyen de meules. On soumet ensuite cette poussière au lavage, qui sépare les particules pierreuses d'avec les particules métalliques plus pesantes. Celles-ci se précipitent au fond de l'eau, tandis que les premières sont entraînées par le courant dans un réservoir où elles se déposent à leur tour sous forme de boue. Une fois que le réservoir est plein de cette boue, on la retire et on en fait des monceaux que l'on abandonne à eux-mêmes, ou pour mieux dire, à l'action de l'air et de l'humidité. Le lavage a complétement enlevé toutes les parties solubles que contenait le minerai.

Tant qu'elle se trouve recouverte par une couche d'eau, c'est-à-dire tant qu'elle est à l'abri de l'air au fond du réservoir, la boue ne subit aucun changement. Mais sitôt qu'on l'expose tout à la fois à l'air et à l'humidité, il se passe dans sa masse entière une action chimique puissante, reconnaissable aux abondantes efflorescences salines qui couvrent la surface des amas. Après deux ou trois années d'exposition à l'air, cette boue constitue une masse dure que l'on soumet à un nouveau lavage, et l'on obtient une quantité d'or considérable. C'est le phénomène chimique de la désagrégation qui a mis le métal à nu, c'est-à-dire qui l'a séparé des matières étrangères avec lesquelles il se trouvait combiné. L'opération du lavage se répète six ou sept fois, mais la quantité d'or qu'elle fournit va sans cesse en diminuant. La même action chimique a lieu au sein de la terre végétale : nos opérations mécaniques d'agriculture ne font qu'accélérer et favoriser ce phénomène. Elles ont pour but de renouveler et de multiplier la surface du sol, afin de rendre toutes ses particules accessibles à l'action de l'acide carbonique et de l'oxygène.

Nous obtenons de cette manière une provision de substances minérales solubles, qui servent d'aliments à de nouvelles générations de végétaux et qui sont indispensables à leur prospérité.

LETTRE XXIV.

Mode d'action des jachères. — Emploi de la chaux. — Effets de la combustion. — La marne considérée comme engrais.

J'ose espérer que ma dernière lettre aura jeté quelque lumière sur les principes généraux qui servent de base à l'art de l'agriculture. Il me reste à appeler l'attention du lecteur sur quelques circonstances particulières qui, à mes yeux, sont plus propres que tout le reste à mettre dans toute leur évidence les rapports intimes qui unissent l'agriculture à la chimie. On verra qu'il est impossible de perfectionner l'art important qui a pour but de nourrir l'homme et les animaux, si l'on n'a pas une connaissance approfondie de notre science.

Toutes les plantes que nous cultivons ont besoin d'alcalis et de terres alcalines, chacune dans une certaine proportion. Les céréales ne prospèrent pas lorsque le sol est dépourvu d'acide silicique à l'état soluble. Les silicates, tels que nous les trouvons dans la nature, diffèrent considérablement les uns des autres sous le rapport de leur facilité à se décomposer, c'est-à-dire sous le rapport de la résistance que leurs éléments opposent à l'action dissolvante des agents atmosphériques. Ainsi, au bout d'un certain temps, le granit de

de Corse est déjà tombé en poussière, tandis que le granit du Bergstrass a à peine perdu son poli.

Il existe des natures de terrains si riches en silicates facilement attaquables par les agents atmosphériques, que l'intervalle d'une ou deux années suffit pour rendre soluble et assimilable la quantité de silicate de potasse qu'exigent les tiges et les feuilles d'une abondante moisson de céréales. Il n'est pas rare de voir, en Hongrie, d'immenses étendues de terrain où, de temps immémorial, on cultive alternativement du blé et du tabac, sans que l'on ait jamais eu besoin de rendre au sol les principes minéraux que les récoltes lui enlèvent chaque année. D'un autre côté, on rencontre des terrains où il faut deux, trois ou même un plus grand nombre d'années pour rendre soluble et assimilable la quantité de silicate de potasse nécessaire à une seule récolte de céréales.

On appelle *jachère*, en prenant le mot dans son sens le plus large, l'intervalle pendant lequel le sol, abandonné à l'influence de l'atmosphère, s'enrichit de certains principes minéraux solubles que la récolte précédente lui avait enlevés. Pris dans une acception plus restreinte, le terme de jachère ne signifie pas une cessation absolue de culture, mais tout simplement l'intervalle compris entre deux récoltes de céréales. Si, pendant les intervalles dont nous parlons, on se contente de semer des pommes de terre ou des navets dans un champ qui vient de porter une récolte de blé, leur présence n'empêchera nullement la dissolution des silicates qui sont avec les alcalis la principale condition nécessaire à la prospérité des céréales. En effet, les pommes de terre et les navets n'enlèvent pas une seule molécule de silice, et par

conséquent ils ne modifient en rien l'aptitude du sol à produire une nouvelle récolte de blé.

Il résulte de ce qui précède que la division mécanique du sol constitue le moyen le plus simple et le plus économique de rendre accessibles aux plantes les substances alimentaires qu'il contient. Mais, peut-on nous demander, n'existe-t-il pas, en dehors de cette division mécanique, d'autres moyens de décomposer le sol? n'existe-t-il pas des substances qui, par leur action chimique, peuvent rendre les éléments du sol susceptibles d'être absorbés par les organismes végétaux? Oui, sans doute, et je citerai en première ligne la chaux vive dont on fait un grand usage en Angleterre depuis un siècle. Il serait difficile de trouver un moyen plus simple et qui répondît mieux au but que l'on se propose. Mais quand on désire se faire une idée juste de l'action que la chaux exerce sur le sol, il faut se rappeler les procédés auxquels le chimiste a recours pour rendre un minéral plus promptement accessible aux réactifs chimiques, c'est-à-dire pour dissoudre ses éléments.

Ainsi, par exemple, le feldspath, alors même qu'il a été pulvérisé aussi finement que possible, a besoin pour se dissoudre, d'être traité pendant des semaines ou même des mois entiers par un acide. Mais si l'on mêle le feldspath avec de la chaux et qu'on expose le mélange à une chaleur rouge modérée, la chaux se combine avec certains éléments du feldspath, et une partie de l'alcali (potasse) qui entre dans la composition de ce dernier, est mise en liberté. Il suffit dès lors de verser, même à froid, un acide sur le feldspath pour dissoudre non-seulement la chaux, mais encore les autres élé-

ments du minéral. L'acide s'empare d'une telle quantité de silice, que celle-ci se prend en une masse gélatiniforme transparente.

Le rôle que joue la chaux à l'égard du feldspath lorsqu'on chauffe ces deux substances ensemble, elle le remplit également à l'égard de la plupart des silicates alcalins d'alumine, quand on la laisse un certain temps en contact avec eux après avoir mouillé le mélange. Si l'on verse un lait de chaux sur de l'argile plastique délayée dans de l'eau, le mélange s'épaissit instantanément. Quand on conserve ce dernier pendant quelques mois, et qu'ensuite on le traite par un acide, l'argile se prend en une masse gélatineuse, ce qui n'aurait pas eu lieu sans cette addition de chaux. Ainsi, pendant que la chaux se combine avec les éléments qui entrent dans la composition de l'argile, celle-ci est devenue accessible à l'action du réactif; et ce qui est plus remarquable encore, c'est que la plus grande partie des alcalis qu'elle contient est mise en liberté. C'est Fuchs de Munich qui, le premier, a observé ces faits remarquables. Ces observations ne jettent pas seulement du jour sur la nature et les propriétés de la chaux hydraulique; mais, ce qui est bien plus important, elles ont permis d'expliquer les effets de la chaux éteinte sur les terres cultivées. L'agriculture leur doit donc un moyen précieux de rendre le sol accessible à l'influence des agents chimiques, et de mettre en liberté les alcalis indispensables au développement des plantes.

Au mois d'octobre, les terres cultivées des comtés d'York et d'Oxford présentent l'aspect de campagnes couvertes de neige. On aperçoit des surfaces de plusieurs milles carrés

revêtues d'une couche blanche de chaux éteinte ou délitée à l'air qui, pendant les mois humides de l'hiver, exerce une influence extrêmement favorable sur le sol compacte et argileux de ces contrées.

D'après la théorie de l'humus, théorie abandonnée aujourd'hui, la chaux vive devrait nécessairement exercer une action très-nuisible sur le sol, attendu que la chaux détruit toutes les substances organiques qu'il renferme, et les rend incapables de former de l'humus pour une nouvelle végétation. Or, c'est précisément l'inverse que l'on observe; car, loin de diminuer la fertilité du sol, la chaux ne fait, au contraire, que lui donner plus d'énergie. Les céréales ont besoin d'alcalis, de silicates solubles qui, sous l'influence de la chaux, deviennent susceptibles d'être assimilés par les plantes. Si, indépendamment de ces substances minérales, il existe encore dans le sol une matière organique en voie de décomposition qui fournisse aux plantes de l'acide carbonique, cet acide favorisera leur développement; mais sa présence n'est point indispensable dans le sol lui-même, car l'atmosphère est un réservoir inépuisable d'acide carbonique. Pour réunir toutes les conditions qui assurent à l'agriculteur une riche et abondante moisson, il suffit donc de fournir au sol, dans le cas où il en serait dépourvu, l'ammoniaque et les phosphates nécessaires aux céréales. Dans les contrées où le sol est argileux et où il est facile de se procurer de la tourbe, la simple combustion de cette matière exerce sur la fécondité du sol une influence qui n'est pas moins favorable.

Il n'y a pas longtemps que nous connaissons la modifica-

tion remarquable que la calcination fait éprouver aux propriétés de l'argile; c'est en analysant les silicates d'alumine que ce fait important a été découvert. Plusieurs de ces silicates, qui, dans leur état naturel, résistent à l'action des acides, deviennent au contraire parfaitement solubles dans ces derniers, lorsqu'on les a préalablement chauffés jusqu'à la chaleur rouge ou jusqu'au point de fusion. Au nombre de ces silicates se rangent l'argile plastique, la terre glaise, ainsi que les différentes formes sous lesquelles l'argile existe dans les terres propres à la culture. A l'état natif, ces substances peuvent subir une ébullition de plusieurs heures dans l'acide sulfurique concentré, sans s'y dissoudre en quantité appréciable. Mais lorsque l'argile a été légèrement calcinée, ainsi que cela se pratique dans plusieurs fabriques d'alun, elle se dissout avec la plus grande facilité dans l'acide, et la silice qu'elle contient se sépare sous forme de gelée à l'état soluble.

C'est dans les espèces de terrains les plus stériles que se trouve l'argile ordinaire des potiers; cependant cette argile renferme d'ailleurs tous les éléments constitutifs qui sont nécessaires à la prospérité de la plupart des plantes. Mais il ne suffit pas, pour qu'une plante puisse vivre à leurs dépens, que ces éléments existent dans le sol, il faut encore que ce dernier soit accessible et perméable à l'air, à l'oxygène et à l'acide carbonique; il faut que ces principes aériformes pénètrent entre les molécules du sol, afin d'assurer aux racines un libre et vigoureux développement. Il faut enfin que les éléments minéraux contenus dans le sol s'y trouvent dans cet état particulier de combinaison qui les rend susceptibles d'être assimilés par les végétaux. Or, l'argile plastique ne

possède aucune de ces propriétés; mais elle les acquiert quand on la soumet à une faible calcination.

A Hardwick-Court, près de Glocester, j'ai vu un jardin dont le sol était formé par une argile compacte. Il était tout à fait stérile. Son propriétaire, M. Baker, avait pourtant réussi à le rendre extrêmement fertile, tout simplement en faisant calciner cette argile. L'opération fut poussée jusqu'à trois pieds de profondeur. Le procédé n'était pas économique; mais, du moins, le but que se proposait le propriétaire fut atteint.

Pour apprécier l'énorme différence qui existe entre les propriétés de l'argile calcinée et celles de l'argile non calcinée, on n'a qu'à examiner les constructions en briques élevées dans les pays humides. Dans les villes de Flandre où presque toutes les maisons sont bâties en brique, on voit les murs, peu de jours après leur achèvement, se couvrir d'efflorescences salines qui forment à leur surface une couche blanche. Lorsque la pluie a enlevé ces sels, ils ne tardent pas à reparaître : ce phénomène s'observe sur les murs dont la construction, comme celle des portes de la ville de Lille, remonte déjà à plusieurs siècles. Ces efflorescences salines sont des carbonates et des sulfates à bases alcalines, et l'on sait que ces sels jouent dans la végétation un rôle très-important. L'influence que la chaux exerce sur la production de ces efflorescences salines est évidente, car on les voit d'abord apparaître dans les points où le mortier et la brique se trouvent en contact immédiat.

On voit donc qu'en ajoutant de la chaux à l'argile, on réalise toutes les conditions nécessaires pour rendre le silicate

d'alumine accessible à l'action des agents chimiques, pour donner aux silicates alcalins la faculté de se dissoudre. La chaux que l'on fait dissoudre dans de l'eau chargée d'acide carbonique, agit sur l'argile de la même manière qu'un lait de chaux. Cette circonstance explique l'influence favorable que la marne exerce sur la plupart des terrains argileux. (On désigne sous le nom de marne toutes les argiles où la proportion de chaux est considérable). Il y a des terrains marneux dont la fertilité, à l'égard de toute espèce de végétaux, surpasse celle de quelque terrain que ce soit. Mais je crois que la marne, à l'exemple des autres minéraux qui présentent une composition semblable, doit manifester des propriétés encore plus actives, lorsqu'elle a été soumise à la calcination : je citerai pour exemple les pierres calcaires qui servent à la préparation de la chaux hydraulique ; non-seulement elles fournissent au sol les bases alcalines nécessaires aux plantes, mais encore elles mettent la silice en état d'être absorbée par ces dernières.

Un excellent moyen d'améliorer le sol consiste à y semer les cendres provenant de la combustion du lignite et de la houille : ce procédé est mis en pratique dans beaucoup de localités. Les cendres les plus propres à remplir ce but se reconnaissent à la faculté qu'elles possèdent de former une masse gélatinense quand on les traite par les acides, ou de durcir au bout de quelque temps, comme la chaux hydraulique, lorsqu'on les mêle avec de la chaux détrempée.

Il résulte des détails dans lesquels nous venons d'entrer, que les opérations mécaniques de l'agriculture, que l'emploi de la chaux et que la calcination de l'argile sont des procé-

dés qui ont tous le même but et qui reposent sur un seul et même principe scientifique. Tous, en effet, accélèrent la désagrégation des silicates alcalins d'alumine, et par conséquent fournissent aux plantes, dès le commencement d'une nouvelle végétation, la quantité de substances minérales nécessaires à leur nutrition.



LETTRE XXV.

Nature et mode d'action des engrais. — Destruction des matières végétales. — Excréments. — Valeur des excréments des diverses espèces animales considérés comme engrais.

Après avoir, dans les lettres qui précèdent, exposé mes idées sur les moyens d'améliorer le sol, soit à l'aide d'opérations mécaniques, soit en y introduisant certaines substances minérales, il me reste encore quelques mots à ajouter sur le mode d'action des excréments des animaux, c'est-à-dire sur le mode d'action des engrais, en prenant le mot d'engrais dans une acception plus restreinte.

Pour se faire une idée nette de la valeur et du mode d'action des excréments animaux, il importe avant tout de connaître la source d'où ils proviennent. Tout le monde sait que, si l'on prive un animal de nourriture, le poids de son corps diminue à chaque moment de son existence. Si cette abstinence absolue se prolonge, la diminution du poids de l'animal se révèle à nos yeux par son amaigrissement progressif; la graisse disparaît, et les muscles eux-mêmes diminuent de volume; en sorte que chez les individus qui meurent de faim, il ne reste, pour ainsi dire, que la peau, les tendons et les os. Cet amaigrissement, qui s'observe

chez un individu jouissant d'ailleurs d'une bonne santé, nous démontre que, pendant toute la durée de la vie, la substance organique vivante éprouve des modifications incessantes, et que tous les éléments organiques revêtent successivement la forme de composés privés de vie, qui, après avoir été plus ou moins altérés par les organes sécrétoires, sont éliminés par la peau, les poumons et les voies urinaires. Cette élimination perpétuelle des parties constituantes du corps vivant est intimement liée au phénomène de la respiration : elle dépend, en effet, de l'absorption de l'oxygène atmosphérique qui se combine avec les divers éléments de l'organisme. A chaque inspiration que nous faisons, une certaine quantité d'oxygène s'introduit dans les poumons, pénètre dans le sang et se combine avec ses éléments. Cependant, quoique le poids de l'oxygène absorbé chaque jour par l'économie s'élève à 32 onces et même davantage, le poids du corps ne s'en trouve pas augmenté, car tout l'oxygène introduit pendant l'inspiration ressort pendant l'expiration sous forme de gaz acide carbonique et d'eau. Il suit de là qu'à chaque expiration l'organisme perd une partie de son carbone et de son hydrogène. Mais dans l'amaigrissement causé par la privation d'aliments, la diminution du poids du corps ne dépend pas uniquement de la perte de carbone et d'hydrogène qui a lieu par la voie pulmonaire ; toutes les autres substances qui s'étaient combinées avec ces éléments sont éliminées par les appareils sécrétoires. Les tissus vivants qui contiennent de l'azote, éprouvent une modification par suite de laquelle cet azote est éliminé par la voie des reins et se rassemble dans la vessie urinaire. L'urine con-

tient un composé très-riche en azote, l'urée ; indépendamment de cette substance, on y trouve encore, à l'état de sulfate, le soufre qui entre dans la composition des tissus. Enfin, c'est par les urines que sont évacués peu à peu tous les sels solubles du sang et des autres liquides animaux, le sel marin, les phosphates, la soude et la potasse. Le carbone et l'hydrogène du sang, de la fibre musculaire et de tous les tissus susceptibles de se modifier, retournent à l'atmosphère ; quant à l'azote et aux éléments inorganiques solubles, ils sont rendus à la terre sous forme d'urine.

Nous venons de passer en revue les changements qui s'accomplissent à chaque moment de la vie dans l'organisme en état de santé : nous savons que le corps perd incessamment une partie de sa substance. En conséquence, pour que l'organisme répare ses pertes et recouvre le poids qu'il avait primitivement, il faut nécessairement qu'il reçoive des matériaux capables de reconstituer le sang et de remplacer la substance solide éliminée. Ces matériaux lui sont fournis par les aliments. Chez les sujets parvenus au terme de la croissance et jouissant d'une bonne santé, on n'observe d'un jour à l'autre ni augmentation ni diminution sensible de poids. Dans l'enfance et la jeunesse, le poids de l'individu augmente graduellement ; dans la vieillesse, au contraire, il décroît peu à peu. Évidemment, les pertes éprouvées par l'animal adulte ont été réparées par les aliments qui ont fourni à l'organisme une quantité de carbone, d'azote, d'hydrogène et d'autres éléments, exactement égale à celle qui est sortie par la peau, les poumons et les voies urinaires. Chez l'enfant, l'assimilation est supérieure à la déperdition, une

partie des principes nutritifs reste dans le corps pour accroître sa masse; chez le vieillard, c'est l'inverse qui a lieu : l'organisme perd plus qu'il n'assimile. Il est donc évident qu'à l'exception d'une certaine quantité de carbone et d'hydrogène qui a été éliminée par les voies cutanée et pulmonaire, nous devons retrouver dans les excréments solides et liquides de l'homme et des animaux tous les autres principes qui entrent dans la composition des substances alimentaires.

Ainsi l'animal adulte, jeune ou vieux, nous restitue chaque jour l'azote contenu dans ses aliments; l'urine nous rend la somme entière des alcalis introduits avec la substance alimentaire, tous les phosphates et tous les sulfates solubles. Quant aux excréments solides, nous y retrouvons une foule de substances que contenaient les aliments, substances qui, étant réfractaires à la force digestive, n'éprouvent aucune altération de la part des organes de la nutrition : telles sont la fibre ligneuse, la matière verte des feuilles (chlorophylle), la cire, etc.; ces matières sont expulsées par l'organisme telles qu'elles ont été ingérées ou après avoir subi une simple altération de forme. La physiologie nous apprend que c'est uniquement aux dépens du sang que s'opère la nutrition de l'animal; en d'autres termes, que ce sont les éléments du sang qui servent à réparer les pertes éprouvées par les tissus, ou à accroître la masse totale de l'organisme.

La digestion a pour but la métamorphose de l'aliment en sang, l'absorption de tous les principes sanguifiables contenus dans les substances alimentaires. Or, comme les matières azotées sont les seules qui puissent remplir cette des-

tination, on peut formuler le phénomène de la digestion en disant qu'il consiste en une soustraction d'azote opérée aux dépens de la substance alimentaire pendant son passage à travers le tube digestif. Il est évident que les excréments solides, lorsqu'ils sont rejetés au dehors, ne doivent plus contenir d'autre azote que celui qui leur est fourni par les sécrétions intestinales chargées de faciliter le passage des matières fécales. En outre, ces dernières entraînent avec elles les phosphates de chaux et de magnésie que contenaient les aliments, et qui n'ont pas été assimilés par l'organisme; ces sels étant insolubles dans l'eau, ne peuvent par conséquent se dissoudre dans l'urine.

Pour donner une idée claire de la composition chimique des excréments solides, il nous suffira de comparer les matières fécales d'un chien avec ses aliments. Si l'on donne à un chien de la viande et des os, deux substances fortement azotées, on obtient, comme résultat définitif de la digestion, une matière excrémentitielle parfaitement blanche qui est pénétrée d'humidité et qui, abandonnée à l'air, se dessèche et se réduit en poussière. Cette matière consiste en phosphate de chaux des os, et renferme à peine 1 pour 0/0 de substance organique étrangère.

Dans les excréments liquides et solides de l'homme et des animaux, nous retrouvons donc tout l'azote, tous les principes inorganiques solubles et insolubles que renfermaient les aliments introduits dans l'économie. Or, comme ces principes inorganiques proviennent du sol, il s'ensuit que les excréments restituent à ce dernier les éléments que nous lui avons enlevés sous forme d'herbes, de graines et de racines.

Une partie de nos récoltes est employée à nourrir et à engraisser les animaux dont nous mangeons la chair; une autre partie est directement consommée par l'homme sous forme de farine, de pommes de terre ou de légumes; une troisième partie, enfin, comprend les restes des végétaux qui ne sont pas consommés et dont nous nous servons pour faire de la litière. Nous pouvons évidemment retrouver dans les excréments solides et liquides de l'homme, dans les os et dans le sang des animaux que nous tuons, tous les éléments que nous avons enlevés au sol sous forme de graines, de fruits et d'animaux. En conséquence, il dépend de nous de rétablir la composition normale de nos terres; il suffit pour cela de recueillir avec soin tous les éléments qu'elles ont perdus.

En calculant exactement la quantité de principes minéraux qu'un mouton ou un bœuf, qu'une mesure d'orge, de froment ou de pommes de terre enlèvent au sol, il est facile, une fois qu'on connaît la composition des excréments de l'homme et des animaux, de déterminer la quantité d'engrais dont la terre a besoin pour réparer les pertes qu'elle a éprouvées.

Cependant, s'il nous était possible de nous procurer ailleurs les substances auxquelles les matières fécales doivent leur faculté fertilisatrice, il est certain que nous pourrions nous passer tout à fait de ces excréments. En effet, que le sol reçoive l'ammoniaque sous forme d'urine ou sous celle de sel extrait du goudron minéral, qu'il reçoive le phosphate de chaux sous forme d'os ou sous celle d'apatite, cela est parfaitement indifférent au but que nous nous proposons. Ce qui

importe surtout en agriculture, c'est de restituer à la terre, d'une manière quelconque, les principes que nos récoltes lui ont enlevés, et que l'atmosphère est incapable de lui fournir. Lorsque cette restitution est incomplète, la fertilité de nos champs va en diminuant ; elle s'accroît au contraire, dès que nous augmentons la quantité d'engrais.

L'importation d'urine ou d'excréments solides dans un pays équivaut parfaitement à une importation de grain ou de bétail. Les éléments de ces substances se transforment en graines, en chair musculaire, en os, et l'on peut déterminer d'une manière exacte le temps nécessaire à cette métamorphose ; enfin, après avoir été assimilées par l'organisme humain, ces substances retournent chaque jour à la forme qu'elles possédaient primitivement.

La seule perte réelle qu'éprouve le sol, est celle des phosphates, et, dans l'état actuel de nos mœurs, il n'est pas possible de l'éviter. En effet, l'habitude d'ensevelir les morts prive les terres cultivées de tous les phosphates que contiennent les os de l'homme.

L'énorme quantité de nourriture que l'homme absorbe dans l'espace de soixante ans, tous les principes que renferment ces aliments, peuvent être retrouvés et rendus intégralement au sol d'où ils proviennent. Nous savons, avec toute la certitude possible, que l'animal, en voie de croissance, est le seul dans les os et dans le sang duquel il reste une certaine quantité de phosphate de chaux et de phosphates alcalins ; nous savons qu'à l'exception de cette quantité, qui est très-minime pour un espace de vingt-quatre heures, l'animal nous rend tous les sels à bases alcalines,

tout le phosphate de chaux et de magnésie qu'il consomme journellement dans sa nourriture ; nous retrouvons dans les excréments tant liquides que solides de cet animal, toutes les substances inorganiques contenues dans ses aliments.

Il est facile de déterminer la quantité, la nature et la composition des excréments, sans qu'il soit nécessaire de les analyser. Si nous donnons chaque jour à un cheval 4 livres 1/2 d'avoine et 15 livres de foin, l'avoine fournissant 4 pour 100 de cendres et le foin en donnant 9 pour 100, nous concluons de là que les excréments produits en vingt-quatre heures par le cheval doivent renfermer 21 onces de matières inorganiques provenant du sol. L'analyse des cendres de l'avoine et du foin nous fait connaître exactement la quantité relative de silice, de phosphates et d'alcalis que contiennent ces deux substances alimentaires.

On conçoit aisément que la nature des principes fixes que renferment les excréments d'un animal, varie avec la nature des aliments qu'il consomme. Si nous donnons à une vache des betteraves ou des pommes de terre, et qu'elle ne mange ni foin, ni paille d'orge, ses excréments solides ne contiendront pas de silice ; mais nous y trouverons du phosphate de chaux et de la magnésie. Quant à son urine, elle nous fournira des carbonates de potasse et de soude, ainsi que des combinaisons de ces bases avec les acides inorganiques. En un mot, dans les excréments liquides de l'animal, nous retrouvons tous les principes solubles que donne la cendre des aliments qu'il a consommés , et dans ses excréments solides nous retrouvons tous les éléments de cette même cendre qui sont insolubles dans l'eau. Lorsqu'on nourrit un animal

avec des substances alimentaires dont les cendres contiennent des phosphates alcalins solubles (le pain, la farine, les graines de toute espèce, la chair musculaire, sont dans ce cas), on retrouve ces sels dans son urine. Si, au contraire, la cendre de la substance alimentaire ne donne pas de phosphate de potasse soluble dans l'eau (telle est la cendre du foin, de la betterave, de la pomme de terre), si cette cendre ne contient que des phosphates terreux insolubles, l'urine, dans ce cas, ne renferme aucun phosphate alcalin; mais en revanche, les phosphates terreux sont éliminés avec les matières fécales. L'urine de l'homme et celle des animaux carnivores et granivores contiennent des phosphates alcalins; celle des animaux herbivores n'en renferme aucun.

En analysant les excréments de l'homme, ceux des oiseaux qui se nourrissent de poisson, le guano, les excréments du cheval et de la vache, nous savons exactement quels sont les sels que renferment ces matières.

Ainsi que le démontrent ces analyses, quand nous répandons sur un champ les excréments solides et liquides de l'homme et des animaux, nous lui restituons la cendre des plantes qu'ils ont consommées. Cette cendre se compose de sels solubles et insolubles et de terres indispensables au développement des plantes que nous cultivons; car le sol, pour être fertile, doit nécessairement pouvoir procurer à ces plantes les principes minéraux dont nous parlons.

Il est incontestable qu'en fournissant au sol les excréments dont il est question, nous lui rendons les principes que les récoltes précédentes lui ont enlevés, et que nous lui rendons ainsi la faculté de nourrir une nouvelle récolte : en un mot,

nous rétablissons l'équilibre. Or, à présent que nous savons que les principes minéraux des substances alimentaires passent dans l'urine et dans les matières fécales des animaux, il est extrêmement facile de déterminer exactement la valeur relative des différentes espèces d'engrais. Les excréments liquides et solides d'un animal qui s'est nourri de certaines plantes, sont l'engrais qui convient le mieux à ces mêmes plantes. Le fumier des porcs que l'on a nourris de pommes de terre et de pois, est le meilleur engrais que nous puissions donner aux pois et aux pommes de terre. Une vache, nourrie avec du foin et des betteraves, donne un engrais qui contient tous les principes minéraux que ces végétaux ont enlevés au sol; en conséquence, cet engrais est celui qui convient le mieux au foin et à la betterave. La fiente des pigeons renferme les principes minéraux des graines qu'ils ont consommées; celle des lapins contient les éléments des plantes herbacées et potagères qu'on leur a données. Quant aux excréments liquides et solides de l'homme, ce sont ceux où l'on retrouve les principes minéraux de toutes les semences en plus forte proportion.



LETTRE XXVI.

Source du carbone et de l'azote des plantes. — La quantité de carbone que donnent les forêts et les prairies qui ne reçoivent que des éléments minéraux, démontre que c'est de l'atmosphère qu'elles tirent leur carbone. – Rapports qui existent entre les éléments mineraux, le carbone et l'azote. — Action de l'acide carbonique et de l'ammoniaque des engrais. — Nécessité des substances inorganiques pour la formation des éléments sanguifiables. — Nécessité de recherches par la voie de l'analyse pour les progrès ultérieurs de l'agriculture.

Maintenant que le lecteur connaît mes idées sur l'emploi et sur le mode d'action des diverses espèces d'engrais, il lui sera extrêmement facile de comprendre ce que j'ai encore à dire relativement aux sources d'où proviennent le carbone et l'azote indispensables à la croissance des végétaux.

Les phénomènes que nous présentent nos forêts et nos prairies sont là pour témoigner que l'atmosphère est pour le règne végétal une mine inépuisable d'acide carbonique.

Ainsi, une forêt ou une prairie, dont le sol renferme à la vérité tous les éléments minéraux nécessaires à la végétation, mais ne reçoit aucune espèce d'engrais contenant des substances carbonatées, donne cependant, sous forme de bois ou de foin, une quantité de carbone qui égale et qui surpasse même, dans beaucoup de cas, celle qu'une même sur-

face autrement cultivée produit sous forme de paille, de graine et de racines.

Il est évident que l'atmosphère doit fournir à nos champs cultivés autant d'acide carbonique qu'elle en fournit à une surface égale de forêt ou de prairie, et que le carbone de cet acide carbonique est ou peut être assimilé par les végétaux que nous cultivons dans ces champs, pourvu que les conditions nécessaires à son absorption et à son incorporation avec l'organisme végétal se trouvent réunies dans le sol.

Quoique parfaitement pourvu de tous les principes minéraux nécessaires à la nutrition des plantes, le sol reste stérile pour la plupart d'entre elles, lorsqu'il est frappé de sécheresse, comme on l'observe à certaines époques de l'année. La pluie fertilise nos champs : les semences ne germent et ne se développent qu'à l'aide d'une certaine quantité d'humidité.

Aux yeux d'un observateur superficiel, les effets de la pluie ont quelque chose de plus frappant et de plus merveilleux que ceux des engrais. L'influence d'une bonne pluie sur le développement de la végétation se fait sentir pendant des semaines et des mois entiers, et cependant la pluie ne procure aux plantes qu'une quantité extrêmement minime d'acide carbonique et d'ammoniaque.

Il est indubitable que l'eau, par ses éléments, prend une certaine part au développement des végétaux ; mais elle est en même temps une condition essentielle au développement et au maintien de toute vie organique.

C'est par l'entremise de l'eau que la plante reçoit du sol les alcalis, les terres alcalines et les phosphates nécessaires

à la formation de ses organes. Ces principes minéraux sont indispensables à l'organisme végétal pour qu'il puisse s'assimiler les substances nutritives que l'atmosphère est chargée de lui fournir : si donc le sol ne les contient pas, la croissance de la plante se trouve retardée. Dans la période de sécheresse de l'année, le développement des végétaux est en rapport direct avec la quantité de substances minérales qu'ils ont enlevée au sol dans la première phase de leur croissance. Sur un terrain pauvre en substances minérales, les plantes que nous cultivons ne prospèrent pas, alors même que nous leur fournissons une abondante provision d'eau.

La quantité de carbone que donne une prairie ou une forêt d'égale étendue, est indépendante de la présence d'engrais riches en carbone ; elle dépend de la présence de certains éléments minéraux qui ne contiennent point de carbone, et du concours des conditions qui favorisent l'absorption de ces éléments par les plantes.

Ainsi, nous pouvons obtenir de nos champs une quantité plus considérable de carbone en employant en guise d'engrais la chaux calcinée, la cendre et la marne, c'est-à-dire des substances incapables de fournir du carbone aux végétaux, puisqu'elles-mêmes n'en contiennent pas. Ces faits incontestables démontrent d'une manière positive que les plantes qui croissent sur un sol bien pourvu par nous de ces principes minéraux, leur doivent de pouvoir accroître leur masse et par conséquent celle du carbone qu'elles contiennent, faculté qu'elles ne possédaient auparavant qu'à un moindre degré.

Il est donc évident que la stérilité du sol, ou en d'autres termes, que l'insuffisance de son produit en carbone ne tient

pas à l'absence d'acide carbonique ou d'humus, puisque nous pouvons, jusqu'à un certain point, augmenter ce produit en ajoutant au sol des substances qui ne renferment point de carbone. Comme les végétaux que nous cultivons puisent leur carbone à la même source que les prairies et les forêts, il résulte de là que l'objet principal de l'agriculture est de découvrir les moyens les plus propres à faciliter l'absorption, par les plantes cultivées, du carbone qui existe dans l'atmosphère sous forme d'acide carbonique. C'est en leur procurant les éléments minéraux dont nous avons parlé que l'agriculture fournit aux plantes le moyen de s'assimiler le carbone que contient la source inépuisable de l'atmosphère. Si le sol était dépourvu de ces éléments minéraux, nous aurions beau y ajouter de l'acide carbonique ou des matières végétales en décomposition, nous ne réussirions pas à augmenter son produit.

La quantité d'acide carbonique que les plantes enlèvent à l'atmosphère dans un temps donné, est limitée par la quantité de ce même acide qui entre en contact avec les organes d'absorption de la plante.

C'est par les feuilles que l'acide carbonique de l'air pénètre dans l'organisme végétal. L'absorption de ce gaz ne peut s'effectuer qu'autant que ses molécules se trouvent en contact avec la surface des feuilles ou de la partie du végétal chargée de les absorber.

En conséquence, la quantité d'acide carbonique absorbée dans un temps donné, est en raison directe de la surface présentée par les feuilles et de la quantité d'acide carbonique contenue dans l'air.

Deux plantes de la même espèce et dont les feuilles offrent la même surface, c'est-à-dire dont la surface d'absorption est égale, absorbent, dans le même espace de temps, une égale quantité de carbone, pourvu toutefois que les autres conditions soient égales.

Dans un air qui contient une quantité double d'acide carbonique, une plante absorbe, toutes choses étant égales d'ailleurs, le double de carbone. Boussingault a observé que des feuilles de vigne qu'il avait renfermées dans un ballon de verre, absorbaient entièrement l'acide carbonique de l'air qu'on faisait passer dans le ballon, et cela quelle que fût la vitesse imprimée au courant d'air[1].

Une plante dont les feuilles présentent la moitié moins de surface que celles d'une autre plante, absorbera, dans un temps donné, autant de carbone que celle-ci, si on lui fournit une quantité double d'acide carbonique.

Il est maintenant facile de comprendre l'influence favorable que l'humus et toutes les matières organiques en voie de décomposition exercent sur les végétaux que nous cultivons.

Lorsqu'une jeune plante est réduite à puiser son carbone dans l'atmosphère, la quantité de carbone qu'elle s'assimile est simplement proportionnelle à l'étendue de sa surface absorbante. Mais il est évident que si, par l'intermédiaire de l'humus, ses racines reçoivent dans le même temps trois fois autant d'acide carbonique qu'en absorbent ses feuilles, son poids quadruplera, pourvu toutefois que les conditions nécessaires à l'assimilation du carbone existent dans le sol.

[1] Dumas, Leçons, p. 23.

Il se produira donc quatre fois autant de feuilles, de bourgeons, de tiges, etc.; et à mesure que le végétal augmentera de surface, sa puissance d'absorption pour les aliments qu'il tire de l'atmosphère, croîtra dans la même proportion. En outre, cette puissance d'absorption continuera d'agir longtemps encore après que les racines auront cessé d'absorber du carbone.

L'humus, considéré comme source d'acide carbonique dans les terres cultivées, n'est pas seulement utile en ce sens qu'il sert à augmenter la quantité de carbone que contiennent les plantes, mais il a encore une utilité médiate. En effet, la masse de la plante ayant rapidement augmenté dans un temps donné, l'accroissement qu'elle a pris dans l'espace lui permet d'absorber chaque jour une quantité plus considérable des éléments minéraux nécessaires à la formation de nouvelles feuilles et de nouveaux rameaux.

Il s'opère une évaporation continuelle à la surface de la jeune plante : la quantité d'eau qui s'évapore ainsi est en rapport direct avec la température et avec la superficie du végétal. Les innombrables fibrilles radiculaires remplacent, comme autant de pompes, l'eau qui s'est évaporée, et, tant que le sol est imprégné d'humidité, les principes minéraux indispensables à la plante lui arrivent par l'intermédiaire de l'eau qui les tient en dissolution. De deux plantes, dont l'une présente une surface double de l'autre, la première perdra par l'évaporation deux fois plus d'eau que la seconde. L'eau qui a été absorbée, se dégageant sous forme de vapeur, laisse dans le végétal les sels et les principes minéraux qu'elle tenait en dissolution.

Supposons dans le même terrain deux plantes contenant une quantité d'eau exactement proportionnelle à leur masse : si chez l'une d'elles la surface présentée par les feuilles est deux fois plus considérable que chez l'autre, la première enlèvera au sol une plus grande quantité de substances minérales que la seconde, et la différence sera proportionnelle à la quantité qui traverse les deux plantes.

Si les deux plantes dont nous parlons cessent de recevoir de l'eau et par conséquent d'absorber de nouveaux principes minéraux, le développement de la seconde s'arrêtera bientôt, tandis que celui de la première continuera. Ce phénomène dépend de ce que celle-ci a reçu une plus grande quantité des principes minéraux nécessaires à tout végétal pour qu'il puisse s'assimiler les éléments nutritifs que lui présente l'atmosphère. Dans ces deux plantes, le nombre ou la masse de graines qui se produira, correspondra exactement à la proportion d'éléments minéraux que renferme chacune d'elles. Ainsi la plus riche en phosphates alcalins et en sels terreux produira plus de graines que celle qui, dans le même espace de temps, n'a pas pu absorber une aussi grande quantité de ces substances minérales.

C'est pourquoi dans les étés extrêmement secs, où, par suite du manque d'eau, les végétaux ne peuvent plus enlever au sol les principes minéraux dont ils ont besoin, nous voyons que la hauteur et la grosseur des plantes ainsi que le développement des graines sont en rapport direct avec la quantité de substances minérales qu'elles ont absorbée dans les saisons précédentes.

Si l'on compare pendant plusieurs années successives les

moissons que donne le même terrain, on observe une différence très-considérable dans la proportion qui existe entre le grain et la feuille. Ainsi par exemple, nous pouvons obtenir deux années de suite deux récoltes de grain tout à fait égales sous le rapport du poids et de la composition chimique, et, malgré cela, dans l'une de ces années, nous avons moitié plus de paille que dans l'autre : réciproquement, de deux moissons qui nous donnent une égale quantité de paille (carbone), l'une peut rendre deux fois plus de grain que l'autre.

Quand, sur une même surface, nous récoltons deux fois plus de grain une année que la précédente, il est évident qne le sol a cédé au grain deux fois plus de principes minéraux la première année que la seconde ; lorsqu'au contraire c'est la quantité de paille qui est double, nous retrouvons dans cette paille deux fois plus de principes minéraux provenant du sol dans le premier cas que dans le second.

Une année le froment aura trois pieds de hauteur et donnera douze cents livres de grain par arpent ; l'année suivante, au contraire, sa hauteur atteindra quatre pieds, mais il ne rendra que huit cents livres de grain.

La différence dans le produit correspond toujours à la quantité de substances minérales qu'a cédée le sol pour former le grain et la paille. La paille, aussi bien que le grain, a besoin de phosphates; seulement elle en renferme une plus faible proportion. Si, pendant un printemps humide, la plante reçoit proportionnellement moins de phosphates que d'alcalis, d'acide silicique et de sulfates ; en d'autres termes, si la plante absorbe relativement plus de ces dernières sub-

stances minérales qu'elle n'absorbe de phosphates, le produit en carbone augmentera, et une quantité beaucoup plus considérable de phosphates sera employée à la formation des feuilles et des tiges; car la semence ne se développe qu'autant qu'il existe un excès de phosphates. Il est facile de prouver ce fait au moyen d'une expérience fort simple : il suffit de priver le sol de phosphates. Dans ce cas, nous voyons les plantes atteindre une hauteur de trois pieds, et fleurir sans produire de graines. Sur un sol riche en principes propres à la formation de la paille (sur un sol gras), nous récoltons, après un printemps humide, proportionnellement beaucoup moins de grain que sur un sol pauvre en ces mêmes éléments, c'est-à-dire sur un sol maigre. Ce phénomène tient à ce que, dans le même espace de temps, le terrain maigre cède aux céréales une plus grande quantité de principes minéraux, et à ce que ces derniers se trouvent en proportion plus convenable au développement des diverses parties de la plante.

Si nous admettons la réunion la plus complète possible de toutes les conditions dont les plantes que nous cultivons ont besoin pour s'assimiler les éléments que leur présente l'atmosphère, le seul rôle que jouera l'humus consistera à accélérer le développement de la végétation; il nous procurera une économie de temps. L'humus contribue toujours à augmenter le produit en carbone; mais, lorsque les conditions qui lui permettent d'entrer dans d'autres combinaisons viennent à manquer, ce carbone prend la forme d'amidon, de sucre, de gomme, c'est-à-dire de substances qui ne contiennent pas de principes minéraux.

En agriculture, la question de temps mérite d'être prise en considération; mais c'est surtout dans la culture des plantes potagères que l'humus est d'une importance toute particulière.

Dans nos champs, les céréales, ainsi que les plantes à racine esculente, trouvent, dans les débris de la végétation qui a précédé, une provision de substances végétales en décomposition dont la quantité correspond à la proportion de principes minéraux qu'elles ont puisée dans le sol, et par conséquent elles trouvent dans la terre assez d'acide carbonique pour que leur développement s'opère avec rapidité à l'époque du printemps. Il serait donc parfaitement inutile d'augmenter la quantité d'acide carbonique, si l'on n'augmentait pas en même temps, d'une manière proportionnelle, la quantité de principes minéraux susceptibles d'être assimilés par les plantes.

D'après l'estimation des agronomes les plus dignes de foi, un arpent de bonne prairie rapporte en moyenne 2500 livres de foin. Or, pour fournir ce produit, les prairies n'ont besoin de recevoir ni substances organiques, ni engrais renfermant, soit du carbone, soit de l'azote. A l'aide d'irrigations convenables, à l'aide de la cendre et du plâtre, on porte ce produit jusqu'au double. Mais admettons que le chiffre de 2500 livres soit le maximum, il n'en reste pas moins positif que tout le carbone et tout l'azote contenus dans ces 2500 livres de foin proviennent de l'atmosphère.

Suivant les analyses de Boussingault, le foin desséché à une température de 100 degrés, contient 45,8 pour cent de carbone, et 1,5 pour cent d'azote; le foin desséché à l'air

renferme de plus 14 pour cent d'eau, eau qui disparaît lorsqu'on élève la température à 100 degrés.

Ainsi donc, 2500 livres de foin desséché à l'air correspondent à 2150 livres de foin desséché à une température de 100 degrés. En conséquence, un arpent de prairie qui produit 2150 livres de foin desséché à 100 degrés, nous donne 984 livres de carbone et 32,3 livres d'azote.

Si nous supposons que cet azote a été absorbé par les plantes sous forme d'ammoniaque, il est évident, en évaluant au plus bas, que l'atmosphère contient 39,1 livres d'ammoniaque pour 3640 livres d'acide carbonique (= 984 livres de carbone ou 27 pour cent); ou bien, en d'autres termes, que l'air contient, pour 1000 livres d'acide carbonique, 10,7 livres d'ammoniaque, c'est-à-dire environ 1 cent millième du poids de l'air, ou 1 soixante millième de son volume.

Pour cent parties d'acide carbonique qui ont été absorbées par la surface des feuilles, les plantes de nos prairies enlèvent à l'air un peu plus d'une partie d'ammoniaque.

En calculant, d'après les analyses connues, quelle quantité d'azote nous donnent, sur une égale étendue de terrain, les diverses espèces de plantes que nous cultivons, on obtient les proportions suivantes.

Pour chaque millier pesant de carbone, nous récoltons :

Dans une prairie.	32,7	livres d'azote.
Dans nos terres cultivées :		
En froment	21,5	»
avoine.	22,3	»
seigle.	15,2	»

pommes de terre. . .	34,1	livres d'azote.
betteraves.	39,1	»
trèfle.	44	»
pois.	62	»

Dans sa terre de Bechelbronn, en Alsace, Boussingault a récolté en cinq ans, sous forme de pommes de terre, de froment, de trèfle, de navets et d'avoine, 8383 livres de carbone et 250,7 livres d'azote; dans les cinq années suivantes, il a récolté, sous forme de betteraves, de froment, de trèfle, de navets, d'avoine, de seigle, 8192 livres de carbone et 284,2 d'azote; enfin, dans une troisième période de six années, il a obtenu en pommes de terre, froment, trèfle, navets, pois et seigle, 10949 livres de carbone et 353,6 livres d'azote; ce qui fait, pour les seize années, un total de 27424 livres de carbone et 858,5 livres d'azote : on a donc 31,3 livres d'azote pour chaque millier pesant de carbone.

De ces faits incontestables, nous pouvons tirer quelques conclusions du plus haut intérêt pour l'agriculture.

1° Nous observons que les proportions relatives de carbone et d'azote absorbées sont en rapport constant avec la surface des feuilles. Les plantes dans lesquelles tout l'azote se trouve, pour ainsi dire, concentré dans la même partie, ainsi qu'on l'observe dans les céréales, contiennent, en somme, moins d'azote que les plantes dites légumineuses, les pois et le trèfle, par exemple.

2° Le produit, en azote, d'une prairie qui ne reçoit aucun engrais azoté, est beaucoup plus considérable que celui d'un champ de froment qui a été fumé.

3° Le produit, en azote, d'un champ de trèfle ou de pois, est de beaucoup supérieur à celui d'un champ de pommes de terre ou de navets que l'on a fumé avec toute la profusion possible.

4° Enfin, et ceci est le résultat le plus remarquable et le plus important des faits que nous avons rapportés, si nous semons pêle-mêle des pommes de terre, du froment, des navets, des pois et du trèfle (plantes qui contiennent toutes de la potasse, de la chaux et de la silice), sur le même terrain abondamment fumé, nous récolterons, en seize ans, pour une quantité donnée de carbone, la même proportion d'azote que nous donnerait une prairie qui n'aurait reçu aucun engrais azoté.

Ainsi, sur un arpent de prairie, nous récoltons, en plantes qui renferment de la potasse, de la chaux et de la silice, 984 livres de carbone et 32,2 livres d'azote; sur un arpent de terre cultivée, nous n'obtenons par année, en plantes qui contiennent les mêmes substances minérales, quc 857 livres de carbone et 26,8 livres d'azote. Ces chiffres expriment la moyenne d'une période de seize années.

Si l'on ajoute à ce total le carbone et l'azote des parties herbacées des betteraves et des pommes de terre, carbone et azote qui n'ont pas été comptés dans le produit de la terre cultivée, l'on voit que, malgré la quantité d'engrais carboné et azoté reçue par cette dernière, elle n'a pas rendu plus de carbone et d'azote qu'une égale surface de prairie n'ayant reçu pour engrais que des substances minérales dépourvues de carbone et d'azote.

En quoi consiste donc l'action propre du fumier, c'est-

à-dire des excréments liquides et solides des animaux?

Nous pouvons maintenant répondre à cette question d'une manière très-simple.

Nécessairement ces excréments exercent une influence marquée sur nos terres cultivées, auxquelles nous enlevons chaque année, depuis tant de siècles, sous forme de céréales et de bétail, une certaine quantité de principes minéraux qui ont besoin d'être restitués au sol.

Si la terre dont nous parlions tout à l'heure était restée seize années sans recevoir de fumier, nous n'aurions récolté que la moitié ou le tiers du carbone et de l'azote que nous avons obtenus.

C'est donc, en réalité, aux excréments animaux, soit liquides, soit solides, que nous devons d'avoir tiré de cette surface de terrain un produit égal à celui que donnerait une même étendue de prairie. Mais, malgré la provision de fumier que ce terrain recevait chaque année, il ne se trouvait pas, au bout de six ans, plus riche en principes minéraux capables de servir à la nutrition des plantes, qu'il ne l'était la première année. Dès la seconde, il était déjà plus pauvre que la première; et la cinquième, il se trouvait tellement épuisé que, pour obtenir une récolte aussi abondante que celle de la première année, nous nous sommes vus dans l'obligation de lui restituer une quantité de ces substances minérales égale à celle que les cinq années précédentes lui avaient enlevée. Il est évident que cette restitution a eu lieu au moyen du fumier.

Ainsi donc tout l'effet du fumier s'est borné à empêcher notre terre cultivée de devenir plus pauvre en principes mi-

néraux que le sol d'une prairie qui donne, par an, 25 quintaux de foin. Cependant chaque année nous enlevons, en fourrage, au sol de la prairie, autant de principes minéraux que le fait une récolte de céréales, et nous savons que le remplacement de ces principes minéraux est tout aussi nécessaire à la fertilité d'une prairie, que le fumier l'est à celle d'une terre labourée. Deux prairies de même étendue, mais inégalement pourvues de ces substances nutritives inorganiques, sont, toutes choses étant égales d'ailleurs, inégalement fertiles. Celle qui renferme une plus grande proportion de ces principes inorganiques produit, dans un nombre d'années déterminé, plus de foin que l'autre.

Lorsque l'on ne restitue pas à une prairie les principes minéraux qui lui sont enlevés chaque année, sa fertilité va sans cesse en diminuant.

La fertilité d'une prairie reste toujours la même, si on lui fournit une certaine quantité d'excréments animaux solides et liquides. Bien plus, non seulement elle ne baisse pas, mais encore elle augmente, quand on ajoute tout simplement au sol les substances minérales que les plantes ligneuses ou autres laissent pour résidu après leur combustion. En d'autres termes, c'est au moyen des *cendres végétales* que nous pouvons rétablir la fertilité décroissante de nos prairies. Il faut se rappeler ici que les cendres représentent tous les principes nutritifs minéraux que les plantes puisent dans le sol. En procurant ces substances à nos prairies, nous donnons aux plantes qui y croissent la faculté d'absorber par leur surface le carbone et l'azote.

Mais, à ce sujet, on peut se demander si l'efficacité des

excréments liquides et solides des animaux qui sont tout simplement les *cendres des végétaux brûlés* dans le corps des animaux et de l'homme, ne dépend pas de la même cause.

Ne se pourrait-il pas que l'action fertilisante des excréments animaux, toutes les conditions physiques étant d'ailleurs les mêmes, fût tout à fait indépendante de l'ammoniaque qu'ils contiennent ? N'obtiendrions-nous pas absolument le même effet si nous faisions évaporer l'urine, si nous faisions dessécher et brûler les excréments solides avant de nous en servir, si enfin nous fumions simplement nos champs avec les cendres de ces excréments et les sels de l'urine ainsi évaporée ? Dans ce cas, les graminées et les légumineuses que nous cultivons ne puiseraient-ils pas leur carbone et leur azote à la même source que les graminées et les légumineuses de nos prairies ?

Il est évident que la réponse à cette question ne saurait être douteuse.

Dans la Virginie, on a récolté sur le même terrain, sous forme de froment, 22 livres d'azote par arpent, d'après l'évaluation la plus modérée, ce qui fait 2200 livres pour un siècle. Or, si l'on admettait que cet azote provient du sol, il faudrait que chaque arpent de terre eût contenu cent milliers pesant d'excréments animaux !!!

J'ai déjà, dans ma vingt-quatrième lettre, rapporté qu'en Hongrie il existe des terrains qui, depuis des siècles, donnent alternativemant une récolte de froment et de tabac, et ne reçoivent cependant aucun engrais azoté. Est-il possible d'admettre que, dans ce cas, l'azote puisse provenir du sol ?

Chaque année voit se renouveler le feuillage de nos forêts de hêtres, de chênes et de châtaigniers. Les feuilles et les sucs de ces végétaux, les glands, les châtaignes, les faînes sont riches en azote; il en est de même des noix de coco, du fruit de l'arbre à pain et d'autres productions tropicales. Cependant cet azote n'existe pas dans le sol : ce n'est pas non plus la main de l'homme qui le fournit aux plantes sauvages. Sur un arpent de terre planté en mûriers, nous récoltons, sous forme de vers à soie, l'azote contenu dans les feuilles qui ont servi à la nourriture de ces animaux. Ces derniers, à leur tour, nous rendent une partie de cet azote sous forme de soie; la soie contient plus de 17 pour 100 d'azote. Or, cette récolte se renouvelle toutes les années sans que nous fournissions au sol aucun engrais azoté. Il n'est donc pas possible de conserver des doutes relativement à la source d'où les plantes tirent leur azote : il provient nécessairement de l'atmosphère elle-même.

Peu importe la forme sous laquelle l'azote existe dans l'atmosphère, peu importe la forme sous laquelle il est absorbé par les végétaux : ce qui est incontestable, c'est que les plantes qui croissent sans culture puisent leur azote dans l'air.

Pourquoi les récoltes que donnent les champs fertiles de la Virginie et de la Hongrie ne puiseraient-elles pas leur azote à la même source que les plantes sauvages? L'azote contenu dans les excréments animaux qui servent d'engrais est-il tout à fait sans influence? ou bien *nos champs nous rendent-ils réellement, en retour de l'ammoniaque dont*

nous les avons enrichis, une quantité correspondante d'éléments azotés sanguifiables ?

Les recherches de Boussingault ont résolu cette question de la façon la plus péremptoire, et ces recherches ont d'autant plus de valeur qu'elles ont été entreprises dans un but et dans une direction tout différents.

En admettant que l'engrais dont ce chimiste s'est servi ait été employé dans le même état que lorsqu'il a été analysé, c'est-à-dire desséché dans le vide à une température de 110 degrés, il s'ensuit que le sol a reçu, au moyen des engrais, 1300 livres d'azote dans l'espace de seize années. Mais ce fumier n'était nullement privé d'eau : il était au contraire dans son état naturel, c'est-à-dire imprégné d'humidité; par conséquent, il n'avait pas perdu l'azote contenu dans les excréments animaux à l'état de carbonate volatil d'ammoniaque, azote qui se dégage complétement quand on soumet ces excréments à la dessiccation. D'un autre côté, l'azote de l'urine qui, par la putréfaction, se transforme en carbonate d'ammoniaque, n'est pas compris dans ce poids de 1300 livres. Or, en évaluant cette quantité d'azote à la moitié seulement de celui que renferment les excréments solides desséchés, on trouve qu'en seize ans le sol a reçu 1950 livres d'azote.

Néanmoins, dans ce même laps de temps, ce terrain n'a rendu, sous forme de grain, de paille et de plantes à racine esculente, que 1507 livres d'azote, chiffre de beaucoup inférieur à celui de l'azote que le sol a reçu sous forme d'engrais. Ce résultat a fait conclure à tort, au chimiste dont

ments des animaux qui y parquent sans cesse, tandis que, dans les seconds, ces principes sont recueillis sous forme de fumier dans les fermes pour être, de temps à autre, restitués au sol qui les a perdus.

En Hollande, l'azote de l'urine et des excréments solides des vaches provient des végétaux des prairies qui l'ont eux-mêmes puisé dans l'atmosphère. C'est de la même source que dérive l'azote que contiennent toutes les espèces de fromages, quel que soit le pays qui les produit.

Depuis plusieurs siècles, les pâturages de la Hollande et des Alpes suisses ont produit des millions de quintaux de fromage ; chaque année encore ces pays en exportent des milliers de quintaux, et néanmoins cette énorme production ne diminue aucunement la fertilité des pâturages, quoiqu'ils ne puissent jamais recevoir plus d'azote qu'ils n'en contenaient auparavant.

Ces faits démontrent de la manière la plus positive que ce n'est point par une soustraction d'azote que les produits végétaux épuisent le sol, puisque ce n'est pas ce dernier, mais bien l'atmosphère qui fournit aux plantes l'azote qu'elles contiennent. Il résulte encore des faits précédents qu'en ajoutant à un champ des engrais exclusivement azotés, des sels ammoniacaux, par exemple, nous sommes dans l'impossibilité d'accroître sa fertilité; il est évident, au contraire, que sa productivité augmente ou diminue, en raison directe de la quantité de principes minéraux qui existe dans les engrais.

La formation d'éléments sanguifiables, c'est-à-dire de substances azotées, dans les végétaux que nous cultivons, est subordonnée à la présence de certains principes minéraux,

que le sol doit contenir : s'il est dépourvu de ces éléments, nous aurions beau lui fournir de l'azote, les plantes ne se l'assimileront pas.

L'ammoniaque renfermé dans les excréments des animaux n'exerce une action favorable sur la végétation que parce qu'il se trouve associé à d'autres substances dont la présence est nécessaire pour que son azote puisse se convertir en éléments sanguifiables. Si nous fournissons au sol, en même temps que l'ammoniaque, les éléments minéraux dont nous parlons, les plantes s'assimilent l'azote de l'ammoniaque ; mais si nous ne procurons pas au sol cet ammoniaque, les plantes puisent tout l'azote dont elles ont besoin dans l'atmosphère, qui est une source inépuisable d'azote, car les pertes qu'elle éprouve continuellement sont incessamment réparées par l'azote qui se dégage pendant la putréfaction et la décomposition des organismes animaux et végétaux privés de vie.

L'ammoniaque favorise et accélère le développement des plantes sur toutes les espèces de terrains, pourvu que les diverses conditions nécessaires à son assimilation se trouvent réunies ; mais lorsque ces conditions n'existent pas, l'ammoniaque est tout à fait sans influence sur la production des principes sanguifiables.

Supposons un instant que l'asparagine (principe actif de l'asperge et de la racine d'alhéa), ainsi que les principes azotés et sulfurés de la graine de moutarde et de toutes les crucifères puissent se produire sans la coopération des éléments minéraux du sol. Dans cette hypothèse, les principes organiques sanguifiables pourraient se former dans les végé-

nous parlons : 1° que les plantes légumineuses sont les seuls végétaux qui possèdent la faculté de condenser l'azote de l'atmosphère ; 2° que les graminées et les plantes à racine esculente ont au contraire besoin que nous leur fournissions l'azote qui leur est nécessaire. Mais ces conclusions ne sauraient être admises, puisque une égale surface de bonne prairie (1 hectare = 4 arpents de Hesse), qui ne reçoit point d'engrais azoté, donne 2060 livres d'azote dans le même espace de temps.

Personne n'ignore qu'en Égypte, pays dépourvu de bois, les excréments animaux desséchés constituent la plus grande partie du combustible que l'on y consomme, et que, pendant plusieurs siècles, l'azote extrait de la suie de ces excréments a été importé en Europe sous forme de chlorhydrate d'ammoniaque. Cette importation n'a cessé qu'à partir de la dernière moitié du siècle dernier, époque où Gravenhorst de Brunswick découvrit le moyen de fabriquer le chlorhydrate d'ammoniaque.

A l'exception des principes non volatils de ces excréments, c'est-à-dire des cendres, le sol de la vallée du Nil ne reçoit aucune espèce d'engrais animal, et néanmoins la fécondité de cette vallée ne laisse pas que d'être proverbiale depuis une période d'années bien antérieure à nos temps historiques. Aujourd'hui encore la fertilité de l'Égypte est tout aussi merveilleuse que dans les siècles les plus reculés. Mais chaque année, à l'époque des débordements du Nil, la vallée de l'Égypte reçoit, dans le limon déposé à sa surface, un sol tout nouveau qu'une culture séculaire n'a pas épuisé, et qui vient remplacer les principes minéraux enlevés par la ré-

colte précédente. Cependant ce limon contient aussi peu d'azote que celui qui provient des Alpes suisses et qui vient féconder les champs de la vallée du Rhin lors des crues de ce fleuve.

Si ce limon devait ses propriétés fertilisantes à la présence de matières azotées, quelles couches énormes de débris animaux et végétaux ne devrait-il pas exister dans les montagnes de l'Afrique, à des hauteurs qui dépassent la limite des neiges perpétuelles, et où l'absence de toute végétation ne permet à aucun animal de trouver de quoi subsister ?

Nous savons que le fromage provient des végétaux qui ont servi à la nourriture des vaches. Les plantes des prairies de la Hollande tirent l'azote que contient le fromage, de la même source que les végétaux de nos prairies, c'est-à-dire de l'atmosphère. En Hollande, les vaches laitières demeurent jour et nuit dans les pâturages, et restituent bientôt au sol, sous forme d'urine et d'excréments solides, tous les sels que renferme le fourrage : ces prairies ne perdent qu'une quantité proportionnellement très-faible de sels qui reste dans les fromages.

Il résulte de là que la fertilité des pâturages de la Hollande ne doit pas plus varier que celle de nos terres cultivées, où nos troupeaux, il est vrai, ne paissent pas, mais auxquelles nous rendons, sous forme de fumier, la plus grande partie des principes minéraux que nos récoltes ont enlevés au sol.

Ainsi donc la seule différence qu'il y ait entre les districts de la Hollande où l'on fabrique des fromages et nos pays, consiste en ce que, dans les premiers, les principes minéraux enlevés au sol lui sont immédiatement rendus par les excré-

taux sans le concours des éléments minéraux du sang, c'est-à-dire sans le concours de la potasse, de la soude, du phosphate de soude, du phosphate de chaux, etc.; mais alors ces principes organiques végétaux ne pourraient être assimilés ni par l'homme ni par les animaux herbivores : ils ne rempliraient donc pas le but que leur a assigné la sagesse du Créateur. En effet, sans alcalis, sans phosphates, il ne peut se former ni sang, ni lait, ni fibre musculaire; sans phosphate de chaux, nous aurions peut-être des bœufs, des chevaux et des moutons, mais ces animaux n'auraient pas d'os.

Au moyen de l'urine et des excréments solides des animaux, ainsi qu'au moyen du guano, nous fournissons de l'ammoniaque et, par conséquent, de l'azote aux végétaux que nous cultivons; mais les substances que nous venons de nommer renferment, indépendamment de cet azote, tous les principes minéraux des plantes dont les animaux se sont nourris. Quant aux proportions d'azote et de principes minéraux que contiennent ces engrais, elles sont exactement les mêmes que dans les plantes qui ont servi d'aliment aux animaux qui ont produit ces excréments, ou bien, ce qui revient au même, l'azote et les principes minéraux existent en proportions telles qu'ils peuvent servir à la nutrition d'une nouvelle génération de plantes.

L'action des engrais riches en ammoniaque (nous les considérons ici uniquement sous le rapport de l'azote qu'ils contiennent) est donc tout à fait analogue à celle qu'exerce l'humus considéré comme source d'acide carbonique : elle se borne à accélérer la croissance et le développement des

plantes. Il ne s'agit donc ici que d'une question de temps. L'ammoniaque que nous fournissons au sol sous forme d'excréments humains ou animaux augmente la proportion des éléments sanguifiables dans les végétaux que nous cultivons. Quant au carbonate et au sulfate d'ammoniaque, ils ne possèdent pas cette propriété.

Pour éviter toute espèce de malentendu, je dois faire observer encore une fois que les considérations auxquelles nous venons de nous livrer n'ont nullement pour but de nier l'influence de l'ammoniaque ou des sels ammoniacaux que l'agriculture fournit artificiellement à la terre. L'ammoniaque est la source de tout l'azote que les plantes consomment; on ne leur nuit jamais en leur procurant. Non seulement il est toujours utile de leur en fournir, mais encore, il est, dans certains cas, tout à fait indispensable de le faire. Toutefois, il est de la plus haute importance pour l'agriculture de savoir d'une manière positive que, pour la plupart des plantes cultivées, notre ammoniaque est inutile et tout à fait superflu, que la valeur d'un engrais ne doit pas être jugée, comme il est de règle en France et en Allemagne, d'après sa richesse en azote, et que son efficacité n'est pas proportionnelle à la quantité d'azote qu'elle renferme.

Lorsqu'on aura exactement déterminé la quantité de cendres que donnent les plantes cultivées sur toutes les espèces possibles de terrains; lorsque l'on aura de bonnes analyses de ces cendres, on saura d'une manière positive, pour chaque plante, quels sont les éléments dont la présence est constante, et quels sont ceux dont la présence n'est qu'accidentelle. L'on parviendra alors à déterminer d'une

façon rigoureuse la somme totale des principes minéraux que chaque espèce de récolte enlève au sol.

A l'aide de ces données, l'agriculteur pourra imiter ce qui se pratique dans une manufacture bien tenue ; il aura son livre pour chacune de ses terres. Il lui sera possible de déterminer, *à priori*, d'une manière rigoureuse la nature et la quantité des substances qu'il doit ajouter au sol à la suite de telle ou telle récolte pour lui rendre sa fertilité primitive. Enfin il pourra exprimer exactement combien de livres de tel ou tel principe minéral il lui faudra ajouter au sol pour augmenter sa fertilité à l'égard de chaque espèce de plantes.

Ces recherches sont un besoin et une des nécessités de notre époque. Il faut espérer que les efforts réunis des chimistes de tous les pays ne tarderont pas à résoudre ces grandes questions. Alors, avec le concours d'agriculteurs éclairés, on arrivera nécessairement à un système rationnel et véritablement scientifique d'horticulture et d'agriculture qui sera applicable à tous les pays et à toutes les espèces de terrains.

FIN.

TABLE.

-o8◊8o-

LETTRE IV. Pages.

LETTRE V.

LETTRE VI.

LETTRE VII.

LETTRE VIII.

LETTRE IX.

LETTRE XIV. Pages.

LETTRE XV.

LETTRE XVI.

LETTRE XVII.

LETTRE XVIII. Pages.

LETTRE XIX.

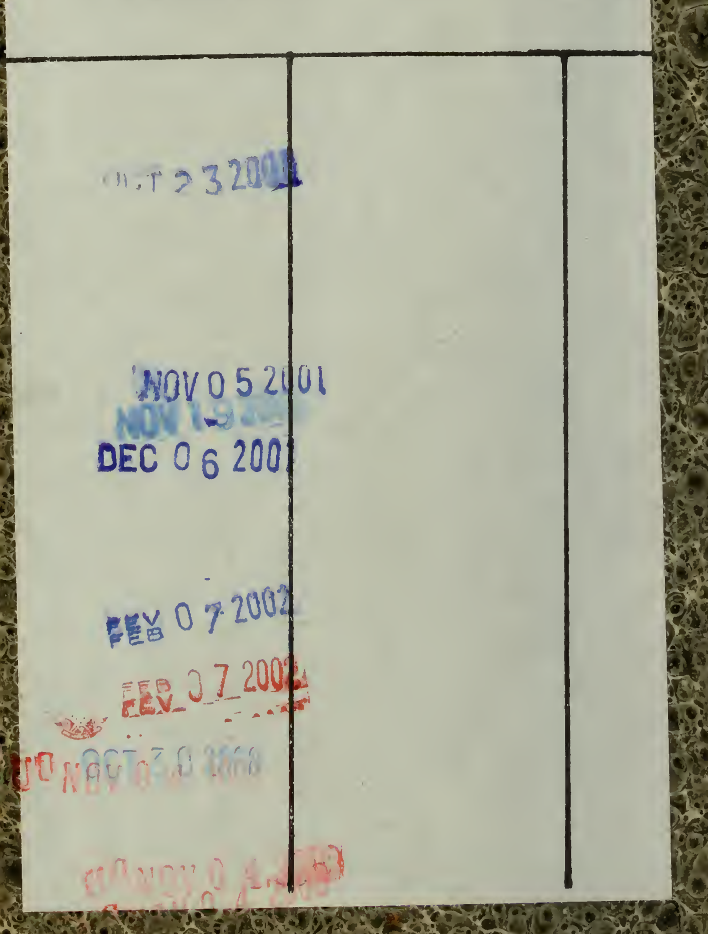
LETTRE XX.

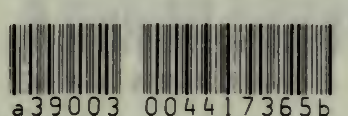
LETTRE XXI.

LETTRE XXII.

LETTRE XXIII.

FIN DE LA TABLE.




a39003 004417365b

